



Aappo Niikko

## **Kuntien kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointi**

Diplomityö  
Aalto-yliopisto  
Insinööritieteiden korkeakoulu  
Maankäyttötieteiden laitos

Helsinki 15.11.2015  
Valvoja: Professori Seppo Junnila  
Ohjaaja: TkT Arto Huuskonen

---

**Tekijä** Aappo Niikko

---

**Työn nimi** Kuntien kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointi

---

**Koulutusohjelma** Kiinteistötalous

---

**Pää-/sivuaine** Kiinteistöjohtaminen

---

**Koodi** M3003

---

**Työn valvoja** Professori Seppo Junnila

---

**Työn ohjaaja** Arto Huuskonen, TkT

---

**Päivämäärä** 15.11.2015

---

**Sivumäärä** 98+16

---

**Kieli** suomi

---

Kiinteistönhoidon tarkoituksena on kiinteistön ja siihen sisältyvien laitteiden, järjestelmien ja ulkoalueiden hoitaminen. Kuntien kiristynyt taloudellinen tilanne sekä kiinteistönhoidon ympäristön muutokset, joista erityisesti kustannusten kasvu, rakennusten korjausvelan kerääntyminen ja rakennusten ikääntyminen luovat haasteita erityisesti kiinteistönhoidon laadukkaalle ja riittävälle järjestämiselle kunnissa. Kiinteistöhoitoon mitoittamisen tehtävänä on löytää erilaisiin kiinteistöihin tehokkaat ja taloudelliset menetelmät, joilla kohteen kiinteistönhoidon laatu- ja tarvevaatimukset saadaan oikealle tasolle. Kiinteistönhoidon resurssien tarpeen mukainen käyttö ja oikein mitoitettu kiinteistöhoito ovat avainasemassa riittävän kiinteistönhoidon järjestämisessä. Oikein mitoitettua ja suunniteltua kiinteistönhoidon avulla on mahdollista säästää kiinteistön vuotuisissa hoitokuluissa, pidentää kiinteistön ikää sekä tehostaa kiinteistönhoidon ajankäyttöä.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää miten kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin analysointi- ja päätöksentekoprosessi tulisi toteuttaa, ja mitkä muuttujat ovat kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin kannalta merkittävimpiä tekijöitä kuntasektorilla. Tavoitteeseen vastattiin kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen tutkimuksen avulla, käyttäen hyväksi tapaustutkimukselle ominaisia tutkimusmenetelmien yhdistelmiä. Kirjallisuuskatsauksen perusteella luotiin teoriapohja empiiristä tutkimusta varten. Empiirisessä osassa pyrittiin luomaan kuntien kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointiin teoreettinen malli, joka ottaa huomioon koko kiinteistöverkon ominaisuudet kuntasektorilla. Kasvaneiden laskentatehojen ja kehittyneiden optimointiohjelmistojen ominaisuuksista johtuen työssä tarkasteltiin kiinteistönhoidon resurssien mitoittamista optimoinnin kautta.

Optimointi-ongelma ratkaistiin ohjelmiston avulla, jossa simulointityökaluna käytettiin Excel-ohjelmistoa ja optimointityökaluna MOBO (Multi-Objective Building Optimization) – ohjelmistoa. Kehitettävään optimointimalliin otettiin kiinteistöhoitotyön tutkimusten sekä asiantuntijahaastatteluiden perusteella neljä eri resurssityyppiä. Tarkoituksena oli hakea optimaalista resurssiyhdistelmää ottaen huomioon resurssien ominaisuudet ja kustannukset sekä töiden jakautumisen kuukausittain. Tarkasteltavaksi kohdejoukoiksi otettiin koko Sipoon kunnan kiinteistöverkko sekä kiinteistönhoidon resurssityypit. Optimoitavana ongelmana oli resurssien käytön aika-kustannus-suhde. Optimoinnin tuloksena saatiin Pareto-optimaalinen ratkaisujoukko, josta päätöksentekijän on mahdollista valita omien preferenssiensä mukaisesti paras aika-kustannus-piste. Tulosten perusteella optimointilaskelmat antavat selkeitä tuloksia resurssien ominaisuuksien vaikutuksista kokonaiskustannuksiin sekä kiinteistönhoidon ajankäyttöön kuntasektorilla. Suuremmat kustannukset selittyvät kalliimpien menetelmien käytön lisäämisellä, esimerkiksi kaikki mahdolliset työt hoidetaan koneilla ja samalla käsityö vähennetään minimiin. Herkkyystarkasteluiden avulla tarkasteltiin tuntihintojen muutosten vaikutusta tuloksiin ja lisäksi erilaisten skenaarioiden avulla havainnointiin kiinteistönhoidon resurssitarpeiden muutoksia. Ulkoalueiden määrä sekä laatu vaikuttavat saatujen tulosten perusteella eniten kokonaistuloksiin sekä kiinteistönhoidon ajankäyttöön, ja näin ollen niitä voidaan pitää merkittävimpinä tekijöinä kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin kannalta kuntasektorilla.

---

**Avainsanat** kiinteistöhoito, kiinteistönpito, optimointi, mitoitus, MOBO

---

---

**Author** Aappo Niikko

---

**Title of thesis** Optimization of the building maintenance resources in municipalities

---

**Degree programme** Degree programme in Real Estate Economics

---

**Major/minor** Real Estate Management**Code** M3003

---

**Thesis supervisor** Professor Seppo Junnila

---

**Thesis advisor** Arto Huuskonen, D.Sc. (Tech.)

---

**Date** 15.11.2015**Number of pages** 98+16**Language** Finnish

---

The purpose of the building maintenance is to keep, restore or improve every part of a building, its services and surrounds, to a currently acceptable standard, and to sustain the utility and value of the building. Maintenance is the combination of all technical and administration actions, including supervision actions, intended to retain an item in, or restore it to a state in which it can perform a required function. The existing economical situation in municipalities in Finland is going to make the building maintenance and other necessary actions really hard. The changes in building maintenances operational environment like increase in renovation debt, aging, change of use and idling of buildings create great challenges in municipalities. Also the increase of real estate maintenance costs, such as administration, running and servicing, upkeep of outdoor areas, cleaning, heating, water supply and waste management create challenges for the municipalities. It is necessary to find the right level of maintenance for each building so that quality and costs will meet. One way to find right level of the building maintenance for each building is to figure out the amount of time that maintenance actions really take. With the correct sizing of building maintenance municipalities can save money, increase the life of buildings and optimize the use of time of building maintenance.

The objective of this study was to figure out the execution of the building maintenance optimization process and find out the most significant factors which effect to optimization of the building maintenance in municipalities. The research method of this study was a case-study which combined a literature review and an empirical study. The aim was to create a theoretical model which can determine the cost-optimal building maintenance resource combination in municipalities. With the increased computer powers and new optimization tools it is possible to solve this kind of problems easier than before. In this study the main focus was to combine building maintenance and optimization tools to create a new model which can be used to optimize building maintenance resources. The model should be easy to use and generic so it can be used in different size problems. Aspect of the optimization was the whole municipality's building stock instead of single building.

The simulation tool was Excel and the optimization analysis was carried out by using MOBO (Multi-Objective Building Optimization) optimization program. There were four different resources with different features and costs in the optimization model. The objective was to find the right resource combination which takes into account the different features, costs and polarization of the maintenance actions. The case study was implemented in the municipality of Sipoo. As a result of multiple optimization runs a Pareto-optimal front was found. The decision maker can choose the best point in that Pareto-optimal front which reflects his own preferences. It can be noticed that the resource qualities affect the overall costs of building maintenance. It can be explained of the different features of recourses. For example machine hour's costs more but are much quicker compared to human hours. Sensitive analyses were also carried out to figure out how the changes in resource costs affect the result and scenario analysis showed how the costs and time-use changes in different situations. The results showed that the quantity and quality of the outdoor areas have the most significant impact of the optimization results and the use of time of building maintenance in municipalities.

---

**Keywords** building maintenance, real estate maintenance, optimization, sizing, MOBO

---

## **Alkusanat**

Tämä diplomityö on tehty Granlund Oy:ssä Sipoon kunnan toimeksiannosta. Työn lähtökohtana on ollut tarve Sipoon kunnan kiinteistönhoidon mitoittamiselle. Mitoittamisen lisäksi työhön otettiin uudeksi näkökulmaksi kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointi.

Kiitän työnantajaani ja Sipoon kuntaa mahdollisuudesta tehdä diplomityö tästä mielenkiintoisesta aihepiiristä. Diplomityön ohjaajaa Arto Huuskosta kiitän asiantuntevasta ohjauksesta. Erityiskiitos kuuluu lisäksi Ville-Veikko Lallukalle, Olli Törnelle sekä Juha Pohjoselle Sipoon kiinteistöhoitoon ja yleisesti ylläpitoon liittyvien asioiden selvittelyssä. MOBO-ohjelmiston käyttöön opastuksesta kiitos kuuluu Matti Paloselle sekä Tuomo Niemelälle.

Helsingissä 15.11.2015

Aappo Niikko

# Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
1.1	Tutkimuksen tausta .....	1
1.2	Tutkimusongelma ja tavoitteet.....	3
1.3	Tutkimuksen menetelmät, rajoitukset ja tarkastelutapa .....	3
1.4	Tutkimuksen sisältö ja rakenne.....	5
2	Kirjallisuuskatsaus .....	7
2.1	Kapasiteettisuunnittelu .....	7
2.1.1	Tuotannon kapasiteettisuunnittelu .....	7
2.1.2	Palvelutuotannon kapasiteettisuunnittelu .....	15
2.2	Optimointi.....	22
2.2.1	Optimointimenetelmät.....	22
2.2.2	Resurssien optimointi.....	28
2.2.3	Optimointi julkisella sektorilla .....	36
2.3	Kiinteistönhoito.....	39
2.3.1	Kiinteistönhoidon periaatteet.....	39
2.3.2	Kiinteistönhoidon mitoittamiseen vaikuttavat tekijät .....	42
2.3.3	Nykyiset mallit kiinteistönhoidon mitoittamiseen .....	52
2.4	Kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin viitekehys .....	53
3	Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto .....	56
3.1	Tutkimusprosessi .....	56
3.2	Sovelletut tutkimusmenetelmät.....	58
3.2.1	Tapaustutkimus .....	58
3.2.2	Kirjallisuuskatsaus .....	59
3.2.3	Empiirinen osio .....	61
3.2.4	Luotettavuus ja rajoitukset.....	61
3.3	Tutkimusaineisto .....	62
3.3.1	Tutkimuksen kohteet ja taustat .....	62
3.3.2	Kohdekierrokset .....	63
3.3.3	Haastattelut .....	64
4	Mallin muodostus ja määrittelyt .....	66
4.1	Optimointityökalu .....	66
4.2	Optimointimallin rakenne.....	67
4.3	Optimointiprosessi .....	68

4.4	Optimoinnin kohteet.....	72
4.5	Parametrisointi ja muuttujien määrittelyt .....	76
4.6	Optimoinnin vaiheet .....	78
5	Tulokset .....	81
5.1	Tyypikiinteistöt ja mitoitusmallit .....	81
5.2	Sipoon kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointi .....	85
5.2.1	Optimointi tyyppikohteittain .....	85
5.2.2	Optimointi koko kunnan kiinteistökannalle .....	87
5.3	Herkkyystarkastelut.....	88
5.4	Mallin ja tulosten validointi.....	92
6	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	95
6.1	Tutkimuksen keskeiset tulokset .....	95
6.2	Tulosten sovellettavuus .....	96
6.3	Tutkimuksen luotettavuuden arviointi.....	97
6.4	Jatkotutkimus .....	98
7	Lähdeluettelo .....	99
	Liitteet.....	103

## Kuvaluettelo

Kuva 1 Tutkimuksen sisältö ja rakenne.....	5
Kuva 2 Kapasiteettisuunnittelun osa-alueet (Vollmann ym. 2005, s. 280.).....	8
Kuva 3 Lopputuotteiden A ja B tuoterakenteet (Vollmann ym. 2005, s. 284.).....	10
Kuva 4 Komponenttien valmistuksen ja kokoonpanon ajoitus (Vollmann ym. 2005, s. 287).....	12
Kuva 5 Askeleet myyntihenkilöstön koon määrittämiseen käyttäen Work Load-menetelmää (Johnston & Marshall 2003, s. 144.).....	16
Kuva 6 Kiinteistönhoidon kapasiteetin laskennan idea.....	21
Kuva 7 Geneettisen algoritmin toimintaperiaate (Luke 2009, s. 35).....	24
Kuva 8 Risteytys (Crossover) (Luke 2009, s. 36).....	24
Kuva 9 A posteriori algoritmien jakautuminen (Hopfe 2009, s. 113).....	25
Kuva 10 NSGA:n vuokaavio (Coello 2000, s. 134).....	26
Kuva 11 Optimointi- ja simulointiohjelmien välinen yhteys (Cheng & Yan 2009, s. 403).....	29
Kuva 12 Optimointi- ja simulointiohjelmien välinen yhteys (Hegazy & Kassab 2003, s. 701).....	31
Kuva 13 Optimointi- ja simulointiohjelmien välinen yhteys (Marzouk & Moselhi 2004, s. 106).....	32
Kuva 14 Optimoinnin kalustokombinaatiot (Marzouk & Moselhi 2004, s. 109).....	33
Kuva 15 Pareto-vektori ajan ja kustannusten suhteen (Marzouk & Moselhi 2004, s. 112).....	34
Kuva 16 Lineaarinen kokonaislukuoptimointimalli (Perrier ym. 2007, s. 287).....	35
Kuva 17 Pareto-rintama optimaalisia tuloksia (Sayarshad & Marler 2010, s. 188).....	36
Kuva 18 Tiehallinnon optimointimallin kuvaaja (Tiehallinto 2007, s. 13).....	37
Kuva 19 Optimoinnilla saavutettavat hyödyt (Bräysy, 2007).....	38
Kuva 20 Kiinteistötyön kohteiden pääjaottelu (Vojola 1994a, s. 1).....	40
Kuva 21 Kiinteistötyön rakenne (Vojola 1994a, s. 2).....	40
Kuva 22 Kiinteistönhoidon työajan jakautuminen (Kangasluoma 2013, s. 98).....	41
Kuva 23 Kiinteistöiden vuosiaikataulu.....	42
Kuva 24 Esimerkki aikasidonnaisten töiden rytmittämisestä (Vojola 1994c, s. 17).....	44
Kuva 25 Ulkotöiden kohteet ja ominaisuudet (Vojola 1994c, s. 1).....	44
Kuva 26 Päälystealueiden luokitteluperusteet (Vojola 1994c, s. 6).....	45
Kuva 27 Lumen kertyminen ja lumitöiden lähtöarvo (Vojola, 1994, s. 11).....	46
Kuva 28: Esimerkki siirtymistä Sipoon kunnan kohteissa (OpenStreetMap, 2015).....	48
Kuva 29 Siirtymisaika yhdessä rakennuksessa (Vojola 1994a, s. 26).....	48
Kuva 30 Kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin viitekehys.....	54
Kuva 31 Esimerkki työmäärän jakautumisesta kuukausittain.....	55
Kuva 32 Tutkimusprosessi.....	57
Kuva 33 Sipoon kiinteistömäärän kehitys.....	62
Kuva 34 MOBO:n sisältämät algoritmit ja ominaisuudet (Palonen ym. 2013, s. 2570).....	66
Kuva 35 Optimoinnin komponentit ja niiden väliset suhteet.....	67
Kuva 36 Optimoinnin tiedostojen alkuasetukset MOBO:ssa.....	68
Kuva 37 Optimoinnin prosessikaavio.....	69
Kuva 38 Simulointikierron määrän kehittyminen MOBO:ssa.....	70
Kuva 39 Optimoinnin perusteella kehittyvä pistepilvi MOBO:ssa.....	71
Kuva 40 Miilin päiväkodin asemakuva ja ulkoalueiden erottelu.....	73
Kuva 41 Kohteiden sijainnit (OpenStreetMap, 2015).....	74
Kuva 42 Optimointimallissa käytetyt jatkuvat muuttujat laatuluokassa II.....	78
Kuva 43 Optimointimallissa käytetyt diskreetit muuttujat laatuluokassa II.....	79
Kuva 44 Optimointimallissa käytettyjä funktioita.....	80
Kuva 45 Optimointimallin algoritmin ja asetusten määrittely.....	80
Kuva 46 Nikkilän SOTE-aseman tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II.....	82
Kuva 47 Miilin päiväkodin tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II.....	82
Kuva 48 Metsätien päiväkodin tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II.....	83
Kuva 49 Sipoolahden koulun tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II.....	83
Kuva 50 Leppätien koulun tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II.....	84
Kuva 51 Box skola tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II.....	84
Kuva 52 Tyypikiinteistöjen kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa II.....	85
Kuva 53 Optimoinnin tulokset kolmessa eri laatuluokassa koko kiinteistökannalle.....	87
Kuva 54 Resurssien tuntihintojen muutosten vaikutus tuloksiin laatuluokassa II.....	89
Kuva 55 Eri skenaarioiden kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin tulokset.....	91
Kuva 56 Optimoinnin minimikeston ja -kustannusten kuvaaja (Marzouk & Moselhi 2004).....	94

Kuva 57 Rakennuskannan ikä Uudellamaalla (VTJ/VRK 4/2011).....	104
Kuva 58 Vuosien 2012–2017 leikkaukset kuntien peruspalvelujen valtionosuuteen (Kuntaliitto 2014).....	105
Kuva 59 Kuntien ja kuntayhtymien talouden kehitys 2012–2018 (Kuntaliitto 2014).....	105
Kuva 60 Kuntien ja kuntayhtymien lainakanta ja lainakannan kehitys 1991–2018 (Kuntaliitto 2014).....	106
Kuva 61 Kuntasektorin kumulatiivinen toiminnan ja investointien rahavirta sekä lainakannan muutos 1997–2018 .....	106
Kuva 62 Sipoon kiinteistöverkon kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa I .....	111
Kuva 63 Sipoon kiinteistöverkon kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa II .....	112
Kuva 64 Sipoon kiinteistöverkon kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa III.....	113



## Taulukkoluetelo

Taulukko 1 Tuotantosuunnitelman mukainen lopputuotteiden valmistus (Vollmann ym. 2005, s. 283.).....	9
Taulukko 2 Arvioitu kapasiteetin tarve CPOF-menetelmällä (Vollmann ym. 2005, s. 283.) .....	10
Taulukko 3 Tuotteiden tuotanto-ohjelman tiedot (Vollmann ym. 2005, s. 285) .....	11
Taulukko 4 Arvioitu kapasiteetin tarve Capacity bills -menetelmällä (Vollmann ym. 2005, s. 285.) .....	11
Taulukko 5 Kapasiteettisuunnittelun menetelmien ominaisuudet .....	13
Taulukko 6 Incremental-menetelmän havainnollistaminen .....	18
Taulukko 7 Aktiviteettiin perustuvan mitoituksen laskeminen (Zoltners ym. 2004, s. 242).....	19
Taulukko 8 Yhteenvedo myyntihenkilöstön koon mitoittamiseen kehitetyistä malleista.....	20
Taulukko 9 Monikriteeristen päätöksenteko-menetelmien ominaisuudet (Miettinen 2008, s. 22).....	27
Taulukko 10 Resurssien ja työn optimointiin keskittyvät tutkimukset .....	28
Taulukko 11 Optimoinnin tulokset (Yang & Chou 2011, s. 1187) .....	30
Taulukko 12 Kaluston koon optimointiin keskittyvät tutkimukset .....	30
Taulukko 13 Case-tapauksen resurssikombinaatiot (Hegazy & Kassab 2003, s. 702) .....	32
Taulukko 14 Funktioiden sisältämät muuttujat .....	34
Taulukko 15 Vihertöiden työkausi ja työkerrat (Voijola 1994c, s. 17) .....	43
Taulukko 16 Puhtaanapidon työkausi ja työkerrat (Voijola 1994c, s. 18) .....	43
Taulukko 17 Ulkoalueiden määrien ja pinnan laadun vaikutus hoitomenekkeihin ja – kustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 21) .....	49
Taulukko 18 Ulkoalueiden hoitoluokan vaikutus huollon työmenekkiin ja hoitokustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 21).....	49
Taulukko 19 Ulkoalueiden määrien ja pinnan laadun vaikutus hoitomenekkeihin ja – kustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 20) .....	50
Taulukko 20 Ulkoalueiden hoitoluokan vaikutus huollon työmenekkiin ja hoitokustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 20).....	50
Taulukko 21 Rakennuksen alueellisen sijainnin vaikutus kustannuksiin ja työmenekkiin (Hyartt & Saari 1992, s. 23.).....	51
Taulukko 22 Päälystettyjen alueiden hoidon työmenekkien vertailu alueittain (Hyartt & Saari 1992, s. 23).51	
Taulukko 23 Työhön valitut tyypikohteet.....	63
Taulukko 24 Mitoitukseen valitut tyypikohteet ja pinta-alat .....	72
Taulukko 25 Mitoituksessa käytettyjä lumenpoiston työkertoja (Voijola 1994).....	75
Taulukko 26 Mitoituksessa käytettyjä työmenetelmiä (Voijola 1994) .....	75
Taulukko 27 Optimointimallin resurssi- ja tehtävälajit .....	77
Taulukko 28 Optimoinnissa käytetyt resurssien tuntihinnat ja aikamenekit.....	78
Taulukko 29 Jatkuvien muuttujien selitykset.....	79
Taulukko 30 Tyypikiinteistöjen mitoitus tulokset kolmessa laatuluokassa.....	81
Taulukko 31 Tyypikiinteistöjen kiinteistönhoidon minimikustannukset ja -kestot .....	86
Taulukko 32 Koko Sipoon kunnan kiinteistöverkon kiinteistönhoidon minimikustannukset ja -kestot eri luokissa .....	88
Taulukko 33 Resurssien tuntihintojen muutokset .....	88
Taulukko 34 Eri skenaarioiden vaatimat kiinteistönhoidon tunnit resurssittain.....	90
Taulukko 35 Kiinteistönhoidon laskennalliset tuntimäärät ja henkilötarve eri laatuluokissa .....	92
Taulukko 36 Optimoinnin minimikesto ja -kustannus (Marzouk & Moselhi 2004, s. 112).....	93
Taulukko 37 Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi rakennustyypeittäin 2010=100 (Tilastokeskus 2015).107	
Taulukko 38 Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi tehtävittäin 2010=100 (Tilastokeskus 2015) .....	107
Taulukko 39 Resurssiprofiili työpisteittäin (Vollmann ym. 2005, s. 288).....	108
Taulukko 40 Resurssiprofiili työpisteittäin tuotantosuunnitelman tuotemäärillä (Vollmann ym. 2005, s. 288) .....	108
Taulukko 41 Resurssien tuntimäärät eri laatuluokissa .....	110
Taulukko 42 Kiinteistöhoitajien tarve kolmessa eri laatuluokassa.....	114

## Käsitteiden määrittely

**Kiinteistönhoito** tarkoittaa kiinteistön ylläpitoon kuuluvaa säännöllistä toimintaa, jolla säilytetään kiinteistössä halutut olot. Kiinteistönhoitoon kuuluu laitejärjestelmien, rakenteiden ja vastaavien hoitaminen, kiinteistönhuolto, korjaus, siivous ja ulkoalueiden hoitaminen (lumi- ja kasvityöt, puhtaanapito). (Ympäristöministeriö 2000, s. 2.)

**Kiinteistönpito** tarkoittaa juridiseen oikeuteen tai velvollisuuteen perustuvaa vastaamista kiinteistöstä ja sen ominaisuuksista. Kiinteistönpitoon kuuluu muun muassa kiinteistön teknisten järjestelmien hoitoa ja ylläpitoa, asiakaspalvelua sekä talous- ja henkilöstöhallintoa. Kiinteistönpitoon voi kuulua myös rakentamista ja rakennuksen purkamista. (Ympäristöministeriö 2000, s. 2.)

**Kiinteistön ylläpito** tarkoittaa sitä osaa kiinteistönpidosta, johon kuuluvien toimintojen tarkoituksena on kiinteistön kunnon, arvon, käytettävyyden ja koettavuuden (imago) säilyttäminen. Kiinteistön ylläpitoon kuuluvia toimintoja ovat muun muassa kiinteistönhoito ja kunnossapito. (Ympäristöministeriö 2000, s. 2.)

**Kiinteistönhoidon mitoittaminen** tarkoittaa tarvittavan henkilömäärän arviointia suoritustunteina lasketun vuotuisen työmäärän perusteella. Kiinteistönhoidon mitoittamisen tehtävänä on löytää erilaisiin kiinteistöihin tehokkaat ja taloudelliset menetelmät, joilla kohteen kiinteistönhoidon laatu- ja tarvevaatimukset saadaan oikealle tasolle. (Kangasluoma 2013, s. 85.)

**KIMI-järjestelmä** laadittiin vuosina 1986–1990 eri kiinteistönhoito-organisaatioissa tehtyjen työntutkimusten ja toimintatapojen tutkimusten perusteella. KIMI-järjestelmän pääasiallinen tarkoitus oli olla tavoitteen asettelun ja työmenetelmien sekä ajankäytön apuväline talonmiestyypisen työn henkilöstötarpeen selvittämisessä. Tulokset julkaistiin raporttisarjana v. 1990, ja näitä tuloksia täydennettiin vielä vuosina 1994 – 1999. (Kangasluoma 2013, s. 84.)

**Kunnossapito; kunnostava korjausrakentaminen** tarkoittaa korjausrakentamista, jossa kohteen käytettävyys ja koettavuus taataan uusimalla tai korjaamalla vialliset ja kuluneet osat ilman, että kohteen suhteellinen laatutaso olennaisesti muuttuu. (Ympäristöministeriö 2000, s. 2.)

**Kunnossapitojakso** tarkoittaa aikaväliä, jonka jälkeen rakenteissa tai teknisissä järjestelmissä joudutaan tekemään kunnossapitoa. (Ympäristöministeriö 2000, s. 2.)

**Ylläpito-organisaatio** tarkoittaa organisaatiota tai yhteisöä, joka vastaa kiinteistön ylläpitoon liittyvistä asioista joko itse tai valitsemiensa alihankkijoiden avulla. (Ympäristöministeriö 2000, s. 2.)

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Rakennettu ympäristö muodostaa kaksi kolmasosaa Suomen kansallisvarallisuudesta käsittäen yhteensä noin 1,2 miljoonaa asuin- ja toimitilarakennusta. Näiden lisäksi rakennuskantaan kuuluu kesämökkejä, talous-, maatalous- ja muita rakennuksia. Suomessa on asuntoja yhteensä noin 2,4 miljoonaa kappaletta; omakotitaloissa 980 000, rivitaloissa 300 000 ja kerrostaloissa 1 050 000. Suomen rakennuskanta on rakennettu pääosin 1960–80-luvuilla (liite 1), joten suuri osa rakennuskannasta on tulossa peruskorjausikänsä, mikä merkitsee erilaisten korjaustarpeiden voimakasta kasvamista tulevaisuudessa. Rakennuskannan ja ympäristön hoito ovat tärkeä osa kuntien hyvinvointia ja taloutta, sillä erityisesti kuntien rakennuskantaa vaivaavat vakavat sisäilmaongelmat ja korjausvelan jatkuva kasvu. Ongelmat ovat usein seurausta kiinteistön rakentamisesta, ylläpidosta, korjauksista ja käytössä tehdyistä valinnoista paljon ennen ongelmien ilmaantumista. Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti ylläpitovaiheeseen kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen ja optimoinnin avulla. Kiinteistöjen käytettävyyteen sekä asukkaiden ja muiden kiinteistön käyttäjien viihtyvyyteen vaikuttaa kunnossapitotoimien ohella etenkin sujuva kiinteistönhoito. Kiinteistönhoidon tulee olla suunnitelmallista ja tavoitteellista, tarkoittaen että sekä taloudellinen ja tarvenäkökulma kohtaisivat. Mitä paremmin kiinteistönhoidon tarpeet ja resurssit on määritelty, sitä helpompi on mitoittaa kiinteistönhoito oikealle tasolle. Suunnitelmallisella ja ennakoivalla kiinteistönhoidolla kiinteistöjen järjestelmät ja laitteet pysyvät kunnossa, olosuhteet hyvinä ja kustannukset sekä energiankulutus hallinnassa. (Holmijoki, 2015; Kangasluoma, 2013, s. 18-19; Voijola, 1994, s. 2-3.)

Kuntien kiristynyt taloudellinen tilanne (liitteet 2 ja 3) sekä kiinteistönpidon ympäristön muutokset, kuten rakennusten korjausvelan kerääntyminen, rakennusten ikääntyminen, käyttötarkoitusten muuttuminen, tyhjäkäyttö sekä väestörakenteen muutokset luovat kuitenkin haasteita kiinteistönhoidon laadukkaalle ja riittävälle järjestämiselle. Kiinteistöjen ylläpidon kustannukset ovat lisäksi kasvaneet viime vuosina voimakkaasti. Kokonaisuudessa ylläpidon kustannukset ovat nousseet vuodesta 2010 lähtien yli 20% (liite 4). Tämä asettaa haasteita kunnille muutenkin tiukassa taloudellisessa tilanteessa. (Kuntaliitto, 2014; Tilastokeskus, 2015.)

Aikaisempien selvitysten ja tutkimusten perusteella nykyiseltään kiinteistönhoidon mitoitusmallit ja niiden käyttö ylipäänsä vaativat paljon työtä, määrittelyä sekä erityisosaamista. Lisäksi kehitetyt mallit on luotu pääasiassa yksittäisten kohteiden kiinteistönhoidon mitoittamiseen. Tässä työssä on tarkoituksena laajentaa tarkastelu koskemaan koko kunnan kiinteistöverkkoa. Kiinteistöverkot ovat monissa kunnissa kasvaneet hallitsemattomasti ajan myötä, joten ne eivät usein ole optimaalisia kiinteistönhoidon tehokkaan järjestämisen kannalta. Huomionarvoista on lisäksi se, ettei optimointia ole ennen hyödynnetty kiinteistöhoitoon kontekstissa. Tässä työssä pyritään kehittämään ja luomaan kiinteistönhoidon resurssien mitoitukseen käyttökelpoinen malli ja työkalu, joka hyödyntää uusimpia optimointiohjelmia. Kasvaneiden tietokoneiden laskentatehojen ja kehittyneiden optimointi-ohjelmistojen ansioista optimointiongelmia voi ratkaista nykyään helpommin ja vaivattomammin kuin ennen. Näistä uusista mahdollisuuksista ja ohjelmien kasvaneista ominaisuuksista johtuen, tässä työssä tarkastellaan kiinteistönhoidon resurssien mitoitusta optimoinnin näkökulmasta, ja pyritään

luomaan optimointia hyväksikäyttäen käyttökelpoinen malli ja teoreettinen viitekehys kiinteistönhoidon resurssien uudenaikaiselle hallinnalle sekä mitoittamiselle. Kehitettävä kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointimalli mahdollistaa kohtuullisella työmäärällä ja panostuksella riittävän sekä tarpeenmukaisen kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen.

Kiinteistöhoitoon mitoittamisen tehtävänä on löytää erilaisiin kiinteistöihin tehokkaat ja taloudelliset menetelmät, joilla kohteen kiinteistönhoidon laatu- ja tarvevaatimukset saadaan oikealle tasolle. Kiinteistönhoidon resurssien tarpeenmukainen käyttö ja oikein mitoitettu kiinteistöhoito ovat avainasemassa riittävän kiinteistönhoidon järjestämisessä. Voijolan (1999) raportissa nousee esille, että oikein mitoitetun ja suunnitellun kiinteistönhoidon avulla on mahdollista säästää kiinteistön vuotuisissa hoitokuluissa, pidentää kiinteistön ikää sekä tehostaa kiinteistönhoidon ajankäyttöä. Kiinteistöhoitossa resursseilla tarkoitetaan henkilöstöä, laitteistoa ja muita tukitoimintoja. Kiinteistönhoidon epäpätevä mitoitus voi aiheuttaa helposti resurssien ali- tai ylimitoittamisen. Alimitoittaminen johtaa siihen, että kunnalla ei ole tarpeeksi kiinteistöhoitajia ja tästä johtuen palvelutaso kärsii. Ylimitoittaminen voi vastaavasti johtaa tarpeettoman suuriin menoihin. Kuntien tulisikin tehostaa toimintaansa mitoittamalla kiinteistöhoitotyön resurssit optimaalisiksi. (Kangasluoma, 2013, s. 85-86; Voijola, 1999.)

Aikaisemmin kiinteistöhoitoon mitoittamista on tutkittu Suomessa KIMI-tutkimuksessa. Alkuperäinen KIMI-järjestelmä laadittiin vuosina 1986–1990 eri kiinteistöhoito-organisaatioissa tehtyjen työntutkimusten ja toimintatapojen tutkimusten perusteella. KIMI-järjestelmän pääasiallinen tarkoitus oli olla tavoitteen asettelun ja työmenetelmien sekä ajankäytön apuväline talonmiestyypin työn henkilöstötarpeen selvittämisessä. Tuloksia täydennettiin vielä vuosina 1994 – 1999 tarkempien ja luotettavampien tuloksien aikaansaamiseksi. Voijolan (1999) mukaan samantapaista tutkimusta kuin 1980-luvun lopulla tehty KIMI-tutkimus oli, ei ole sittemmin tehty. Tutkimuksessa onnistuttiin keräämään hyödyllistä perustietoa eri kiinteistöhoito-organisaatioiden toiminnasta. (Voijola, 1994; Voijola, 1999.)

Voijolan (1999) raportissa nousee esille, että työntekijän vuotuisen työmäärän laskeminen ei ole ainoa tavoite kiinteistönhoidon mitoituksessa. Vuotuisen työmäärän laskeminen on vain lähtötieto kiinteistöhoitoon kokonaisvaltaiseen suunnitteluun. Suunnittelulla tulisi pyrkiä kunkin yksilöllisen kiinteistön kunnan ja toimivuuden vaatimien töiden selvittämiseen, ja näiden vaatimusten mukaisten töiden toteuttamiseen. Ideana on, että vasta toteuttaminen vaatii tarvittavien resurssien selvittämisen. Kiinteistön haluttu kunto ja toimivuus pitää saavuttaa mahdollisimman taloudellisesti eli mahdollisimman pienellä työmäärällä ja kustannuksilla. KIMI-menetelmissä on merkittävää se, että ne on ensin teoreettisesti suunniteltu ja lisäksi käytännössä toteutettu sekä näiden toteutustietojen perusteella tarkistettu. (Voijola, 1999, s. 3, 5.)

## 1.2 Tutkimusongelma ja tavoitteet

Työssä on tarkoituksena kehittää teoreettinen optimointimalli, jonka avulla kohtuullisella työmäärällä voidaan optimoida koko kunnan kiinteistökannan vaatimia resursseja. Erityisesti keskitytään tutkimaan miten kiinteistönhoidon resurssien optimointia voidaan hyödyntää kiinteistönhoidon resurssien mitoituksessa kuntien kiinteistönpidossa kiinteistöverkkotasolla. **Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää miten kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin analysointi- ja päätöksentekoprosessi tulisi toteuttaa, ja mitkä muuttujat ovat kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin kannalta merkittävimpiä tekijöitä kuntasektorilla.** Tutkimus luo siten edellytyksiä kiinteistöhoitoon optimoinnille resurssien näkökulmasta. Edellä kuvattuun tavoitteeseen pyritään vastaamaan seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

1. Mitkä tekijät ovat keskeisiä kiinteistönhoidon resurssien optimoinnille?
2. Mihin optimointimalleihin ja -algoritmeihin aiemmin suoritettut resurssien optimoinnin tutkimukset pohjautuvat?
3. Miten optimoinnin avulla on mahdollista optimoida koko kunnan kiinteistöverkon vaatimia kiinteistönhoidon resursseja?

Tutkimuskysymykset keskittyvät optimoinnin hyödyntämiseen kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin kontekstissa. Ensimmäisen kysymyksen avulla pyritään selvittämään millä tekijöillä on suurin vaikutus kiinteistönhoidon resurssien ajankäytölle sekä mitoitukselle, ja tätä kautta optimoinnille. Toisen tutkimuskysymyksen tarkoituksena on saada selville yleisimmät resurssien optimointiin käytetyt optimointimallit ja -algoritmit. Näiden tarkasteltujen resurssien optimoinnin tutkimusten perusteella valitaan tähän työhön parhaiten soveltuvat käytettävät optimointimallit ja – algoritmit. Lisäksi määritetään yleinen optimointiprosessi tämän työn optimointiongelman ratkaisua varten. Kolmas tutkimuskysymys vastaa yleisesti siihen, voidaanko kehitetyllä optimointimallilla ylipäänsä optimoida kunnan koko kiinteistöverkon vaatimia kiinteistönhoidon resursseja. Tämän kysymyksen selvitetään soveltuuko kehitetty malli sekä yksittäisten kiinteistöjen että koko kiinteistöverkon tarkasteluun. Erilaisten skenaarioiden kautta pyritään lisäksi selvittämään miten kiinteistöverkon muutokset vaikuttavat lopputuloksiin.

## 1.3 Tutkimuksen menetelmät, rajoitukset ja tarkastelutapa

Tutkimuksessa on yhdistelty eri tutkimusmenetelmiä parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaan saamiseksi kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen kontekstissa. Tutkimuksen pääasiallinen menetelmä on tapaustutkimus, sillä se soveltuu parhaiten työn luonteeseen. Tapaustutkimuksen vahvuutena on, että sen avulla voidaan hyödyntää monimenetelmälliselle tutkimukselle ominaista laadullisten ja määrällisten menetelmien rinnakkaista tai peräkkäistä käyttöä analysoitaessa erilaisilla aineistonkeruutekniikoilla kerättyä empiiristä tapaustutkimusaineistoa. Eri menetelmien soveltaminen nousee erityisesti tämän työn tutkimusprosessissa esille, sillä kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen osion yhdistäminen luo pohjan koko tutkimuksen kululle ja kehitettävälle malleille.

Tapaustutkimuksen määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus toteutetaan systemaattisena kirjallisuuskatsauksena empiirisen tutkimuksen esivaiheena. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa keskeistä ovat johtopäätökset aiemmista tutkimuksista, aiemmat teoriat sekä

käsitteiden määrittely (Hirsjärvi yms. 2006, s. 131). Tässä vaiheessa saatujen taustatietojen ja teorioiden tarkoituksena on selkeyttää kysymyksenasettelua ja rajata tarkemmin tutkittavaa ongelmaa. Lisäksi kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on antaa paremmat lähtökohdat suunnitella mahdollisimman tehokas ja soveltuva metodi empiiriselle selvitykselle. Kirjallisuudesta nousseiden soveltuvimpien mallien perusteella rakennetaan tämän työn mitoitus- ja optimointimallit. Tavoitteena on vastata kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen; Mitkä tekijät ovat keskeisiä kiinteistönhoidon resurssien optimoinnille sekä mihin optimointimalleihin ja -algoritmeihin aiemmin suoritettut resurssien optimoinnin tutkimukset pohjautuvat?

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on kehittää olemassa olevaa teoriaa vastamaan tämän työn haasteisiin. Tässä vaiheessa saatujen taustatietojen ja teorioiden tarkoituksena on myös selkeyttää kysymyksenasettelua ja rajata tarkemmin tutkittavaa ongelmaa. Lisäksi kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on antaa paremmat lähtökohdat suunnitella mahdollisimman tehokas ja soveltuva metodi empiiriselle selvitykselle. Kirjallisuudesta nousseiden soveltuvimpien mallien perusteella rakennetaan tämän työn mitoitus- ja optimointimallit. Tiedonkeruu pohjautuu ennakkoon määritettyihin selkeisiin tutkimuskysymyksiin. Kirjallisuuskatsauksen aineisto muodostuu aikaisemmista tutkimuksista, jotka kerätään systemaattisen tiedonhaun menetelmällä.

Työssä tehtiin kirjallisuuskatsauksen lisäksi asiantuntijahaastatteluita. Haastatteluiden tarkoituksena oli luoda kokonaiskuva kiinteistönhoitoalan toimintatapojen selvittämiseksi. Haastatteluihin valittiin kolmen johtavan kiinteistönhoitoyrityksen kiinteistönhoidon suunnittelusta ja mitoituksesta vastaavat henkilöt. Tarkoituksena oli saada selville miten johtavat kiinteistönhoidon yritykset mitoittavat kiinteistönhoitoa ja mihin työmäärän laskenta ylipäänsä perustuu. Näin ollen saatiin arvokasta tietoa siitä, miten hyvin tässä työssä käytettävät lähtötiedot, aikastandardit ja menetelmät soveltuvat kiinteistönhoidon mitoittamiseen kunnissa. Haastattelut toteutettiin avoimina haastatteluina säilyttäen haastateltavien henkilöiden ja yritysten anonymiteetti, sillä tavoitteena oli vain saada luotua yleiskuva alan nykytilasta ja käytetyistä malleista.

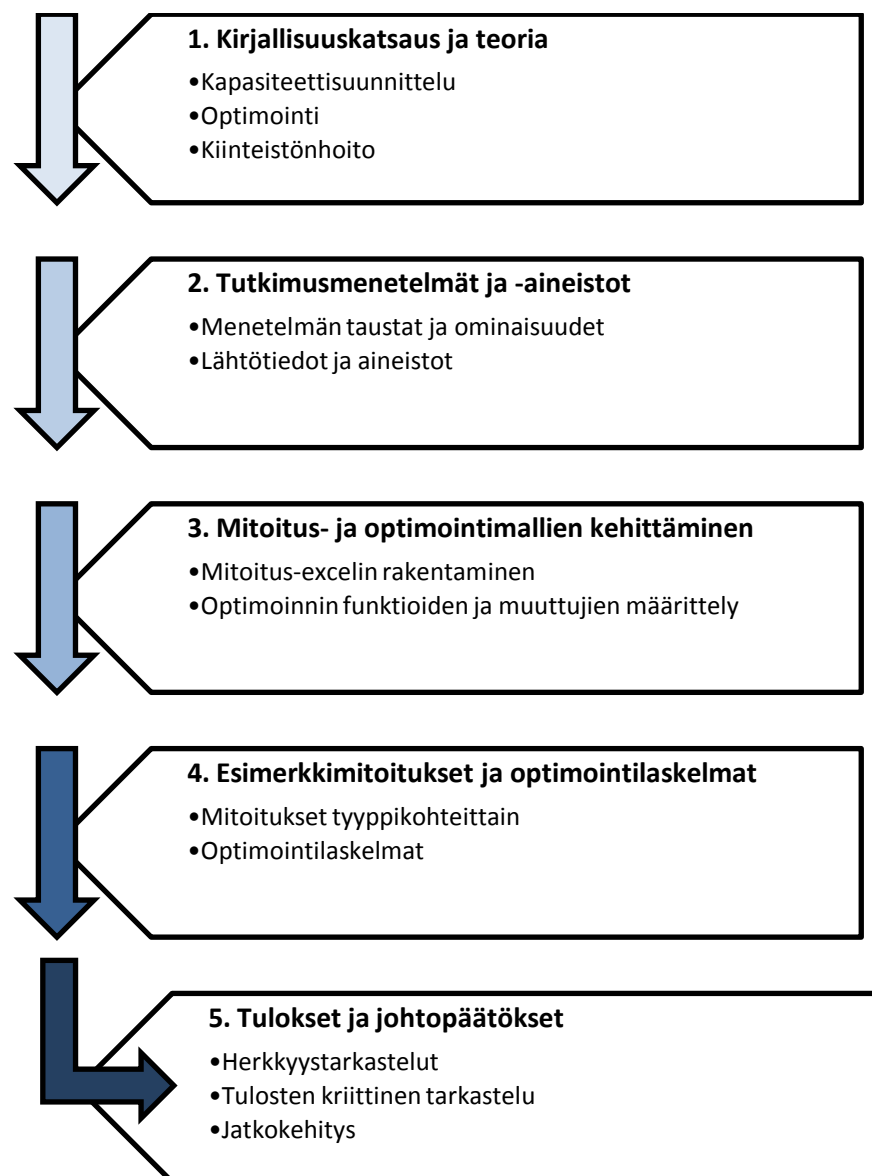
Tutkimuksen empiirinen osa sisältää kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella luotujen mitoitus- ja optimointimallien testaamisen käytäntöön todellisilla kiinteistöjen arvoilla. Kirjallisuuskatsauksen perusteella luotiin teoriapohja empiiristä tutkimusta varten. Mitoitus- ja optimointimallien rakentaminen on tutkimuksessa avainasemassa, sillä näiden perusteella tehdään tarvittavat laskelmat. Kiinteistönhoidon mitoitusmalli rakennetaan Excel-muotoon olemassa olevien kiinteistönhoidon aikastandardien ja teorioiden perusteella. Tässä vaiheessa tavoitteena on vastata kolmanteen tutkimuskysymykseen; Miten optimoinnin avulla on mahdollista optimoida koko kunnan kiinteistöverkon vaatimia kiinteistönhoidon resursseja?

Työ on rajattu käsittelemään kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointia Suomen kunnissa. Työssä ei siten käsitellä tai oteta kantaa esimerkiksi kiinteistönhoidon yleiseen järjestämiseen, kiinteistöjen ominaisuuksien parantamiseen tai kiinteistöjen sijoitteluun. Tutkimuksen kiinteistöt ja niiden ominaisuudet ovat oikeista käytössä olevista kiinteistöistä johdettuja. Työn sisältöön vaikuttavat resurssien valinta ja määrittely. Resursseilla tarkoitetaan tässä työssä eri osaamistasoisia henkilöstöä sekä erityyppisiä koneita. Tutkimuksessa käsitellään kiinteistönhoitajien työtä, johon kuuluu jatkuvia ja päivittäisiä kiinteistönhoitotoimenpiteitä, kuten ulkoalueiden hoitoa, kiinteistöhuoltoa ja

teknisten järjestelmien hoitoa. Työssä on kuvattu niitä kiinteistönhoitotyöhön liittyviä toimia ja rutiineja, jotka ovat keskeisimpiä resurssien käytön kannalta.

## 1.4 Tutkimuksen sisältö ja rakenne

Tässä johdantoluvussa käydään tarkemmin läpi tutkimuksen sisältö ja rakenne, joka on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 1. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitetään kirjallisuuskatsauksen avulla kapasiteettisuunnittelua tuotannon sekä palveluiden näkökulmasta. Tämän osion tarkoituksena on luoda yleiskuva resurssi- ja kapasiteettisuunnittelun peruslähtökohdista. Kirjallisuuskatsauksessa selvitetään ja analysoidaan lisäksi resurssien optimointiin käytettyjä malleja ja näiden taustoja. Teoriaosiossa perehdytään myös tarkemmin KIMI-mitoitukseen ja kiinteistönhoidon standardiaikamalleihin, ja näiden pohjalta rakennettavaan mitoitusmalliin. Teoriaosan tavoitteena on luoda teoreettinen viitekehys ja rakentaa perusta myöhemmin tehtävälle empiiriselle tutkimukselle ja optimointimallin luomiselle.



**Kuva 1** Tutkimuksen sisältö ja rakenne

Työn toisessa osassa tarkastellaan lähemmin työssä käytettyjä tutkimusmenetelmiä ja perusteita näiden käytölle (kuva 1). Tutkimusprosessia ja sen eri vaiheita kuvataan myös tarkemmin prosessikaavion muodossa. Lisäksi tehdään läpileikkaus Sipoon kiinteistönhoitoon ja esitellään valitut tyyppikohteet sekä työssä käytetyt lähtötiedot sekä näiden keräystekniikat. Lopuksi validoidaan lähtöaineisto ja sekä käytettävät menetelmät asiantuntijahaastatteluiden perusteella.

Kolmannessa vaiheessa luodaan teoreettiset mallit sekä kiinteistönhoidon mitoittamiseen että optimointiin (kuva 1). Tässä vaiheessa ei vielä keskitytä itse mitoittamiseen tai optimointiin vaan selvitetään yleisesti kuhunkin kiinteistönhoidon toimenpiteeseen kuluva aika sekä merkittävimmät tekijät kiinteistönhoidon ajankäytölle erityisesti kuntasektorilla. Tavoitteena on lisäksi selvittää resurssien ominaisuuksia optimointimallia varten. Haastatteluiden ja kirjallisuuskatsauksen avulla pyritään luomaan kokonaisvaltainen kuva kiinteistönhoidon vaatimista töistä ja näissä käytetyistä resurssien ominaisuuksista. Tavoitteena on luoda malli, jonka avulla voidaan optimoida ja mitoittaa kiinteistönhoidon tarvitsemat resurssit koko kiinteistöverkon tasolla kuntasektorilla. Tässä vaiheessa tavoitteena on myös tunnistaa merkittävimmät mitoittamiseen vaikuttavat tekijät.

Neljännessä vaiheessa suoritetaan esimerkkimitoituksia luodun kiinteistönhoidon mitoitusmallin perusteella (kuva 1). Tässä vaiheessa mitoitusmallia testataan Sipoon kunnan omistamien kiinteistöjen kiinteistönhoidon resurssien mitoittamiseen. Tätä varten muodostetaan kuusi mitoittettavaa tyyppikohdetta ja niihin tarkemmat mitoittavat kiinteistönhoidon tehtävät. Tämän jälkeen määritetään koko kiinteistökannan mitoitus luodun kiinteistönhoidon mitoitusmallin mukaisesti.

Optimointiosuudessa on avainasemassa laskelmien ajaminen optimointiohjelmaan ennakkoon määritettyjen funktioiden ja muuttujien avulla. Optimoinnissa muuttuja voi olla käytännössä mikä tahansa kiinteistönhoitoon liittyvä parametri, jota voidaan kuvata jatkuvana arvoalueena, diskreettinä numeerisena arvojoukkona tai diskreettinä ei-numeerisena vaihtoehtojoukkona, eli tyyppimuuttujana. Tarkasteltaviksi muuttujiksi on valittava parametrit, joiden vaikutusten tiedetään tai oletetaan olevan merkittäviä kiinteistönhoidon optimaalisen järjestämisen kannalta tai joiden vaikutus on jostain muusta syystä kiinnostava. Muuttujien arvoalueiden määrittely tulee toteuttaa parhaiten todellisia vaihtoehtoja kuvaavalla tavalla, mikä tarkoittaa käytännössä erilaisia tyyppimuuttujia sekä arvovälin ja -askeleen avulla diskretoituja numeerisia muuttujia. Muuttujien ja niiden arvoalueiden määrittely liittyy olennaisesti käytettävään otantamenetelmään. Optimointimallin rakentamisen prosessi etenee seuraavasti; määrittely, optimointi ja tulosten käsittely. Tässä vaiheessa on tarkoituksena myös validoida kehitetty optimointimalli käytäntöön sekä viimeistellä optimointimalli ja sen laskentapohjat sekä ohje optimointimallin käyttämiselle. Tuloksien kriittinen tarkastelu herkkyyštarkasteluiden avulla tehdään laskelmien jälkeen. Herkkyyštarkastelun avulla selvitetään kuinka tulokset muuttuvat, jos esimerkiksi kustannukset resursseittain muuttuvat tai kiinteistöverkossa tapahtuu merkittäviä muutoksia.

Työn viimeisessä osassa tarkastellaan saatuja tuloksia kriittisesti ja tehdään näistä tuloksista johtopäätökset (kuva 1). Tässä vaiheessa otetaan kantaa myös mallin sovellettavuuteen muissa tapauksissa. Lisäksi laaditaan ehdotuksia jatkotutkimuskohteista ja itse optimointimallin kehittämisestä. Jatkotutkimusten aihealueita tulevaisuudessa voisivat olla esimerkiksi itse optimointimallin monimutkaisuuden kasvattaminen sekä resurssien lisääminen ja kohdealueiden kasvattaminen.



## 2 Kirjallisuuskatsaus

Tässä luvussa perehdytään tarkemmin kapasiteettisuunnittelun, kiinteistönhoidon ja optimoinnin teoriaan. Kapasiteettisuunnittelua käsitellään sekä tuotannon että palvelutuotannon näkökulmasta. Palvelutuotannon kapasiteettisuunnittelussa keskitytään erityisesti myyntihenkilöstön kapasiteettisuunnitteluun, sillä se tarjoaa kirjallisuuden perusteella hyödyllisiä malleja tämän työn aihealuetta varten. Kiinteistönhoitoa tarkastellaan mitoituksen näkökulmasta, ja lisäksi käydään läpi yleisesti kiinteistönhoidon taustat sekä kiinteistönhoitoon vaikuttavat tekijät. Optimointiosassa keskitytään monitavoiteoptimoinnin tarkasteluun, sillä se on tarkastellun kirjallisuuden perusteella resurssien optimoinnissa yleisimmin käytetty optimointimenetelmä. Lisäksi käydään lävitse resurssien optimointia tehtyjen tutkimusten ja artikkeleiden pohjalta, jotta saadaan tarkempi yleiskuva juuri tähän diplomityöhön soveltuvista optimointimenetelmistä ja -algoritmeista. Kokonaisuudessa kirjallisuuden tarkastelussa perehdytään toteutettuihin toimintamalleihin sekä niiden peruseräpäätteisiin, soveltuvuuteen ja kehityserusteisiin. Lopuksi tehdään yhteenveto kirjallisuudesta ja luodaan kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin viitekehys tätä työtä varten.

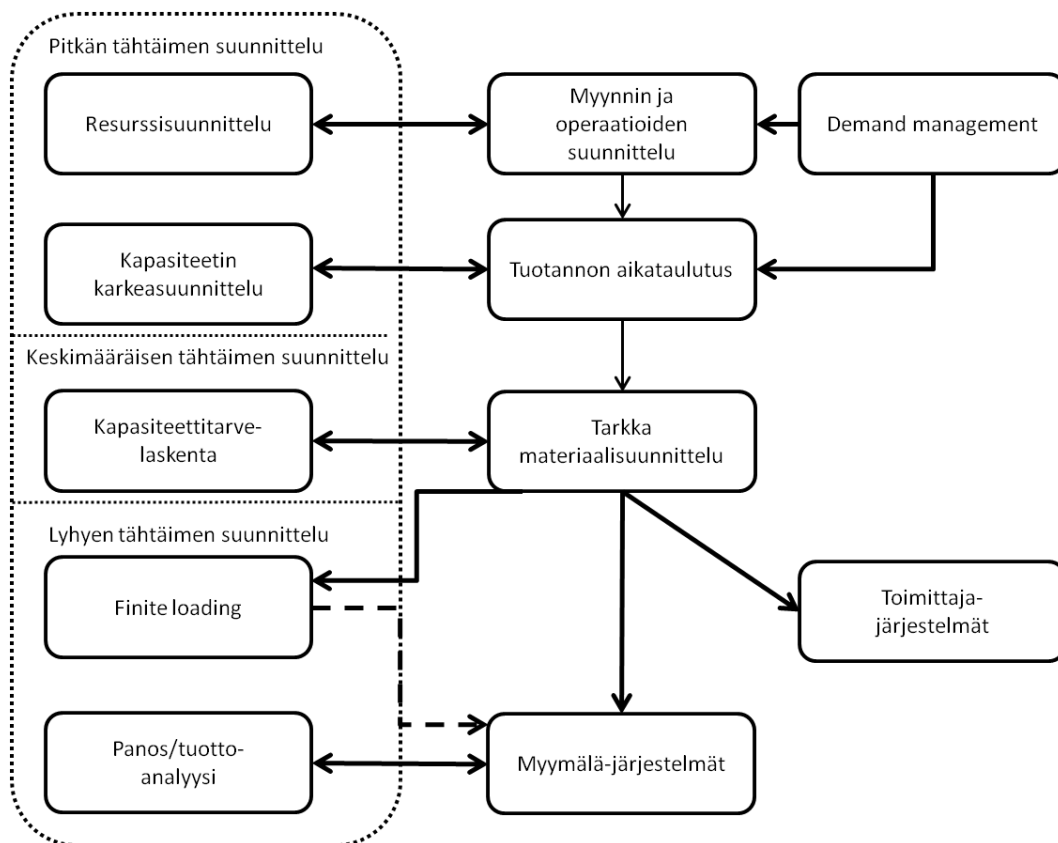
### 2.1 Kapasiteettisuunnittelu

Kapasiteettisuunnittelu on osa tuotantosuunnittelua, ja sen tavoitteena on saada selville tarvittava kapasiteetin määrä tuotantoprosessissa sekä sovittaa kapasiteetin määrä tuotantosuunnitelmiin. Kapasiteettisuunnittelulla voidaan parantaa yrityksen toimituskykyä sekä tehostaa kapasiteetin kuormitusta. Tässä luvussa käsitellään tuotannon- ja palvelutuotannon kapasiteettisuunnittelua. Tuotantosuunnittelun kapasiteettisuunnittelua tarkastellaan karkeasuunnittelun tasolla, ja esitellään esimerkein mallien perusajatus ja logiikka. Lisäksi tarkastellaan miten ja missä tilanteissa malleja voidaan käyttää sekä soveltaa. Palvelutuotannon kapasiteettisuunnittelun tarkastelussa keskitytään myyntihenkilöstön mitoitukseen ja määrittämiseen, sillä myyntihenkilöstön määrän suunnitteluun kehitetyt mallit ja menetelmät tarjoavat tutkimusten mukaan hyvän alustan muille henkilömäärän suunnittelun malleille.

#### 2.1.1 Tuotannon kapasiteettisuunnittelu

Tuotannon kapasiteettisuunnittelulla tarkoitetaan prosessia, jolla yritys pyrkii saamaan tuotantokapasiteettinsa mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön (Vollmann ym. 2005, s. 279). Päästäkseen tähän tavoitteeseen yrityksen on aluksi selvitettävä kapasiteetin tarve, ja verrattava sitä jo olemassa olevaan kapasiteettiin. Näiden selvitysten ja tietojen pohjalta voidaan ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin tarkemman kapasiteetin suunnittelun osalta. Kapasiteettisuunnittelun tärkeimpinä tavoitteina voidaan pitää tuottavuuden parantamista sekä kapasiteetin määrän ennustamista. Epäonnistunut kapasiteettisuunnittelu johtaa nopeasti tuotanto-ongelmiin, varaston kasvuun sekä henkilöstön turhautumiseen. Kapasiteettisuunnittelua voidaan toteuttaa monin eri tavoin ja lisäksi kapasiteettisuunnittelua varten on erilaisia työkaluja. Kapasiteettisuunnittelu on Jonsson & Mattsson (2002, s. 89) mukaan käytettävissä olevan kapasiteetin sovittamista työkuormaan; liian pieni kapasiteetti laskee palvelutasoa, kun taas liiallinen kapasiteetti johtaa tarpeettomiin kuluihin. (Vollmann ym. 2005, s. 279-280; Jonsson & Mattsson, 2002, s. 89.)

Kapasiteettisuunnittelu voidaan jakaa viiteen pääluokkaan. Näitä pääluokkia ovat resurssisuunnittelu (resource planning), kapasiteetin karkeasuunnittelu (rough-cut capacity planning), kapasiteettitarvelaskenta (capacity requirement planning), finite loading ja panos/tuotto-analyysi (input/output). Käytännössä kapasiteettisuunnittelu on loogisesti etenevä ketju, joka alkaa resurssisuunnittelusta ja päättyy input/output-analyysiin (kuva 2). Kapasiteettisuunnittelu alkaa resurssisuunnittelusta, joka on pitkän tähtäimen suunnittelua ja jonka avulla määritetään operatiivisen suunnittelun tarve. Kapasiteetin karkeasuunnittelu on seuraavan askeleen tarkempaa suunnittelua, jonka tärkein informaatiolähde on tuotantosuunnitelma. Tarkemmat lyhyen tähtäimen suunnitelmat, kuten finite loading ja input/output-analyysit ovat yksityiskohtaisempia kapasiteetin tarpeen suunnittelun metodeja, ja niiden tehtävänä on lähinnä seurata kapasiteetin käyttöä. (Vollmann ym. 2005, s. 280-281.)



**Kuva 2** Kapasiteettisuunnittelun osa-alueet (Vollmann ym. 2005, s. 280.)

Kapasiteettisuunnittelu voi Vollmann ym. (2005) mukaan tarjota monia hyötyjä yrityksen toiminnalle etenkin nostamalla yrityksen tuottavuutta. Kapasiteettisuunnittelun onnistumista edesauttaa sen yhtäaikainen kehittäminen materiaalisuunnitelman kanssa. Lisäksi kapasiteettisuunnittelun tekniikoiden tulee olla tarpeeksi tarkkoja sekä soveltua yhteen yrityksen yleistilanteen kanssa. Resurssi- ja tuotesuunnittelunprosessien laatiminen huolella helpottaa kapasiteettisuunnittelua, sillä ylemmän tason suunnitelmat antavat viitekehyksen alemman tason kapasiteettisuunnittelulle. Tulee kuitenkin ottaa huomioon että mitä yksityiskohtaisempaa kapasiteettisuunnittelu on, sitä enemmän tietoa ja tarkempaa tietokannan ylläpitämistä se vaatii. Lopuksi tulee varmistaa, että kapasiteetin käyttöä valvotaan ja monitoroidaan, jotta pysytään tilanteen tasalla ja kyetään reagoimaan tarvittaessa kapasiteetissa tapahtuviin muutoksiin. (Vollmann ym. 2005, s. 307.)

### 2.1.1.1 Kapasiteetin karkeasuunnittelu

Kapasiteetin karkeasuunnittelu on tuotannonohjauksen tärkein suunnittelutaso. Tällä tasolla myynti ja tuotanto sovitetaan toisiinsa jollain tietyllä aikavälillä, joka vaihtelee tuotannon luonteesta riippuen. Karkeasuunnittelun tärkein tehtävä on järjestää edellytykset tuotannon järkevälle toteutukselle. Käytännössä pyritään varmistamaan, että tilauskanta on oikeassa suhteessa tehtaan kapasiteettiin. Kapasiteetin karkeasuunnitteluun on tarjolla kolme yleistä menetelmää:

1. Kapasiteettisuunnittelu yleiskertoimilla (Capacity planning using overall factors)
2. Capacity bills,
3. Resurssiprofiilit (Resource profiles)

Kapasiteetin karkeasuunnittelun tekniikoiden etuja on se, että niiden avulla voidaan nopeasti arvioida erilaisten skenaarioiden mukaisia tilanteita. Myös toimintaympäristöön kohdistuvat rajoitukset ovat pienemmät. Lisäksi on olemassa muita menetelmiä tarkemman suunnittelun tasolle, kuten kapasiteetin tarvelaskenta (CRP), joka on kuitenkin raskaampi menetelmä karkeasuunnittelun menetelmiin verrattuna. Lisäksi kapasiteetin tarvelaskenta vaatii yrityksen toiminnanohjausjärjestelmien integroitumista kapasiteetinsuunnitteluun. Kapasiteetin tarvelaskenta ennakoii suunniteltujen töiden toteutukseen tarvittavia resursseja, eli suunnitellun työkuorman. (Vollmann ym. 2005, s. 282-283.)

### 2.1.1.2 Kapasiteettisuunnittelu yleiskertoimella (CPOF)

CPOF eli kapasiteettisuunnittelu yleiskertoimilla on kapasiteetin karkeasuunnittelun menetelmistä yksinkertaisin, sillä se perustuu suoraan kirjanpidosta saatavaan tietoon. CPOF-menetelmän mukainen kapasiteettisuunnittelu suoritetaan yleensä manuaalisesti, ja sen tärkein etu on menetelmän yksinkertaisuus. Laskutoimitukset ovat suoraviivaisia ja menetelmä vaatii vain vähän syötetietoja, jotka useimmiten ovat lisäksi helposti saatavilla. Tuloksena saatavat arviot tuotantosolujen kapasiteettitarpeesta pitävät kuitenkin paikkansa vain siinä tapauksessa, että kapasiteettitarpeen jakautuminen tuotantosolujen kesken pysyy vakiona. Kapasiteettisuunnittelu yleiskertoimilla soveltuu parhaiten suoraviivaisiin ja selkeärakenteisiin tuotantolaitoksiin, johtuen menetelmän yksinkertaisuudesta. (Vollmann ym. 2005, s. 282-283.)

Taulukossa 1 on esitetty yksinkertaistettu esimerkki CPOF-menetelmän soveltamisesta Vollmann ym. (2005, s. 283) esittämiä laskukaavoja hyödyntäen. Esimerkin yrityksellä on kaksi lopputuotetta A ja B. Taulukossa on esitetty tuotantosuunnitelman mukainen lopputuotteiden valmistus kuuden periodien ajalta. Historiatiedosta on poimittu kummankin tuotteen valmistamiseen kuluva keskimääräinen kokonaistyöaika.

**Taulukko 1** Tuotantosuunnitelman mukainen lopputuotteiden valmistus (Vollmann ym. 2005, s. 283.)

Lopputuote	Työaika yhteensä [h/kpl]	Periodi						Yhteensä
		1	2	3	4	5	6	
A	0,95	33	33	33	40	40	40	219
B	1,85	17	17	17	13	13	13	90

Taulukossa 2 taas on esitetty laskelma kokonaiskapasiteetin tarpeesta kunkin periodin kohdalle jaettuna kolmen työpisteen kesken prosenttiosuuksien mukaan. Näin on saatu laskettua kunkin työpisteen vaatima kokonaiskapasiteetti. Kokonaiskapasiteetin tarve (374 h) saadaan yhdistämällä jokaisen yksittäisen työpisteen aika.

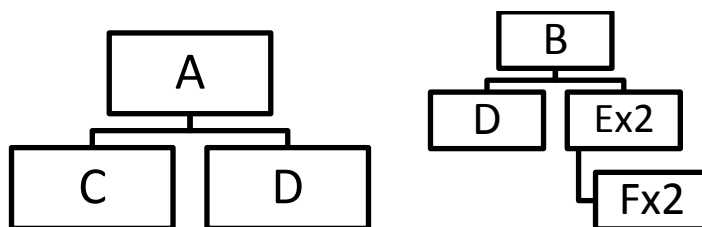
**Taulukko 2** Arvioitu kapasiteetin tarve CPOF-menetelmällä (Vollmann ym. 2005, s. 283.)

Työpiste	Työajan osuus [%]	Periodi						Yhteensä [h]
		1	2	3	4	5	6	
100	30	18,84	18,84	18,84	18,615	18,615	18,615	112,365
200	58	36,424	36,424	36,424	35,989	35,989	35,989	217,239
300	12	7,536	7,536	7,536	7,446	7,446	7,446	44,946
Kokonaiskapasiteetin tarve		62,8 <sup>a</sup>	62,8	62,8	62,05	62,05	62,05	374

$$^a = (0,95 \times 33) + (1,85 \times 17)$$

### 2.1.1.3 Capacity bills

Capacity bills vaatii enemmän lähtötietoja kuin CPOF, mutta menetelmä sisältää kuitenkin vahvemman yhteyden tuotantosuunnitelmassa olevan yksittäisen lopputuotteen ja tuotantosolun kapasiteettitarpeen välillä. Menetelmän lähtötietoihin tarvitaan tiedot tuotantolinjastosta, lopputuotteiden osaluettelot sekä tarkat tiedot yksittäisen työvaiheen vaatimista kone- tai työtunneista. Capacity bills-esimerkki perustuu CPOF-esimerkin tuotteisiin. Tuote A koostuu komponenteista C ja D. Tuotteessa B käytetään myös komponenttia D, mutta lisäksi on kaksi kappaletta komponentteja E ja F (kuva 3). (Vollmann ym. 2005, s. 284.)



**Kuva 3** Lopputuotteiden A ja B tuoterakenteet (Vollmann ym. 2005, s. 284.)

Taulukossa 3 on tiedot lopputuotteiden kokoamisesta sekä komponenttien valmistamisesta. Taulukosta nähdään, että lopputuotteiden kokoonpanossa ja komponenttien valmistamisessa on ainoastaan yksi työvaihe. Poikkeuksen tekee komponentti C, jonka valmistus koostuu kahdesta peräkkäisestä työvaiheesta. Taulukon 3 tietojen perusteella pystytään laskemaan lopputuotteiden kapasiteettitarpeet työpisteittäin.

**Taulukko 3** Tuotteiden tuotanto-ohjelman tiedot (Vollmann ym. 2005, s. 285)

Lopputuotteet	Eräkkoko	Toiminto	Työpiste	Asetustunnit	Asetustunnit /kpl <sup>a</sup>	Työtunnit /kpl	Työtunnit yhteensä /kpl <sup>b</sup>
<b>A</b>	40	1 of 1	100	1	0,025	0,025	0,05
<b>B</b>	20	1 of 1	100	1	0,05	1,25	1,3
<b>Komponentit</b>							
<b>C</b>	40	1 of 2	200	1	0,25	0,575	0,825
	40	2 of 2	300	1	0,25	0,175	0,425
<b>D</b>	60	1 of 1	200	2	0,033	0,067	0,1
<b>E</b>	100	1 of 1	200	2	0,02	0,08	0,1
<b>F</b>	100	1 of 1	200	2	0,02	0,0425	0,0625

<sup>a</sup> = Asetustunnit / Eräkkoko

<sup>b</sup> = Asetustunnit per kpl + Työtunnit per kpl

Kun kapasiteetintarve työpisteittäin [h/kpl] on laskettu lopputuotteille A ja B, pystytään käyttämään tuotantosuunnitelmaa yksittäisen työpisteen kokonaiskapasiteetin tarpeen arvioimiseen. Tuloksena saadut kunkin työpisteen prosentuaaliset osuudet kokonaistyöajasta on esitetty taulukossa 4. Taulukosta nähdään myös, että kokonaiskapasiteetin tarve on aivan sama kuin CPOF-menetelmässä, eli 374 (taulukko 2). Lopputulosten välinen ero tulee esille työpisteiden osuuksien arvioissa eri periodeissa. Tämä ero on erityisesti tärkeä yrityksissä, joiden tuotteilla on korkea kysynnän vaihtelu ja tuotannon on sopeuduttava näihin vaihteluihin.

**Taulukko 4** Arvioitu kapasiteetin tarve Capacity bills -menetelmällä (Vollmann ym. 2005, s. 285.)

Työpiste	Periodi							
	1	2	3	4	5	6	Yhteensä [h]	Työajan osuus [%]
100	23,75 <sup>a</sup>	23,75	23,75	18,9	18,9	18,9	128,0	34,2
200	32,47 <sup>b</sup>	32,47	32,47	35,17	35,17	35,17	202,9	54,2
300	6,60 <sup>c</sup>	6,60	6,60	8,00	8,00	8,00	43,8	11,7
Kokonaiskapasiteetin tarve	62,82	62,82	62,82	62,07	62,07	62,07	<b>374</b>	100,0

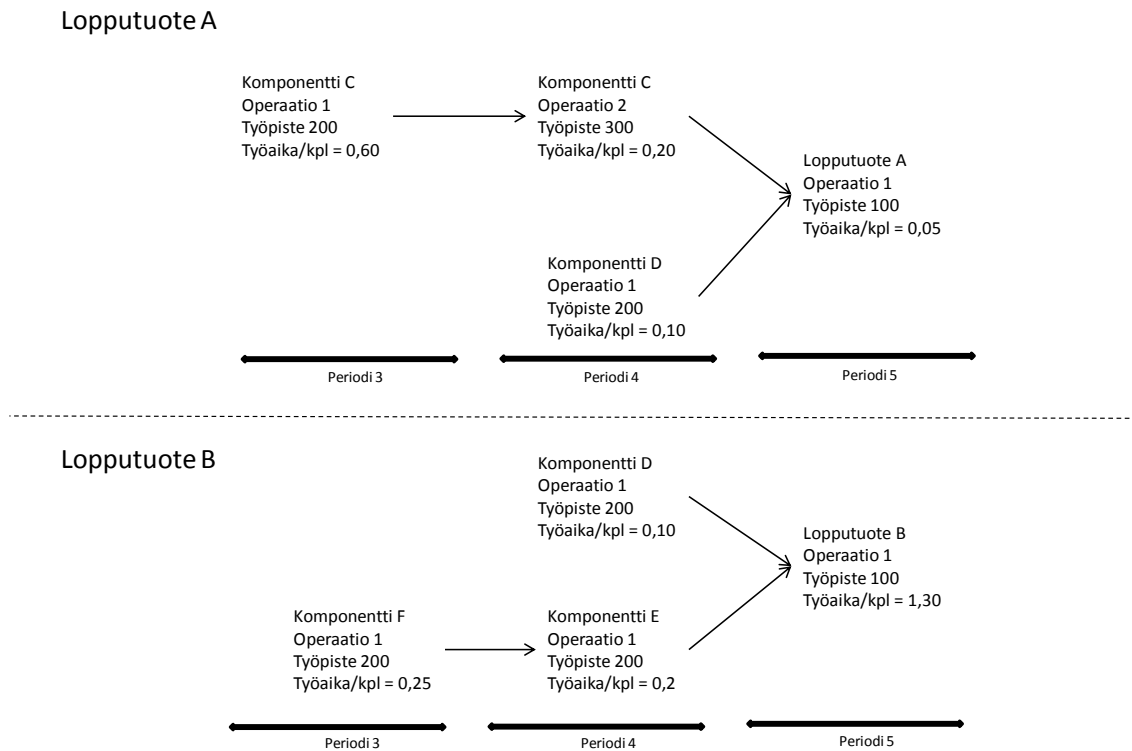
<sup>a</sup> = (33 x 0,05) + (17 x 1,30)

<sup>b</sup> = (33 x 0,70) + (17 x 0,55)

<sup>c</sup> = (33 x 0,20) x (17 x 0)

#### 2.1.1.4 Resurssiprofiilit (Resource profiles)

Resurssiprofiilit (Resource profiles) on kapasiteetin karkeasuunnittelun menetelmistä tarkin sekä kehittynein. Toisin kuin CPOF ja Capacity bills, tämä menetelmä huomioi myös resurssitarpeen ajoituksen yksittäisellä työpisteellä tiettyyn aikaan. Menetelmän tuloksena saadaan aikaan sidottu arvio kapasiteetin tarpeesta yksittäisestä työpisteestä. Esimerkki perustuu CPOF- ja Capacity bills-menetelmissä käytettyihin arvoihin. Aikaisempien esimerkkien lisäksi tarvitaan kunkin lopputuotteen ja komponentin tuotannon läpimenoajan. Kunkin komponentin valmistamisen läpimenoaika on myös yksi periodi kussakin työpisteessä, eli C-komponentilla yhteensä kaksi periodia ja muilla komponenteilla yksi periodi (liite 5). Kuvassa 4 on esitetty komponenttien valmistuksen ja kokoonpanon vaatimat läpimenoajat lopputuotteelle A ja B. Kuvasta selviää, että komponentin C valmistus on aloitettava kahta periodia ennen kokoonpanoa, sillä siinä on yhteensä kaksi työvaihetta työpisteissä 200 ja 300. Menetelmän tärkein kontribuutio kapasiteettisuunnittelulle on ajan ja ajoituksen hyödyntäminen suunnittelemisessa. (Vollmann ym. 2005, s. 286.)



**Kuva 4** Komponenttien valmistuksen ja kokoonpanon ajoitus (Vollmann ym. 2005, s. 287)

### 2.1.1.5 Kapasiteetin tarvelaskenta (Capacity Requirements Planning, CRP)

Kapasiteetin tarvelaskenta (CRP) on tarkempi ja sitä myöten raskaampi menetelmä aikaisemmin käsiteltyihin kapasiteetin karkeasuunnittelun menetelmiin verrattuna. Kapasiteetin tarvelaskenta ennakoii suunniteltujen töiden toteutukseen tarvittavia resursseja, eli suunnitellun työkuorman. Menetelmä sisältää materiaalien määrät, reititykset, aikastandardit, läpäisyajat, suunnitellut tilaukset ja jokaisen tilauksen yksilöllisen tilanteen yksittäisessä työpisteessä. Edellytyksenä kapasiteetin tarvelaskennalle on, että kapasiteetti- ja valmistusrakennetietoa hallitaan yrityksessä tarkasti. (Vollmann ym. 2005, s. 285; Jonsson & Mattson, 2002.)

Kapasiteettitarvelaskenta perustuu resurssien luokitteluun ja se voi toimia joko ajoituksien rajoitteena tai suunnittelun lähtökohtana. Kapasiteettilaskenta pohjautuu työvoima- ja resurssitietoihin. Tarkoituksena on laskea suunnitellun työn toteuttamiseen tarvittava henkilöstö. Tarvelaskenta ottaa huomioon järjestelmän keskeneräisen tuotantotilanteen ja lisäksi suunniteltujen työmääräyksien vaikutukset tuotantokapasiteettiin. Tuotetun tiedon avulla ohjataan ajanjakson tuotannon toimintaa kapasiteetin mukaisille osastoille. Kapasiteettitarvelaskennan avulla voidaan välttää kustannustasoa korottavia tuotannon ylikuormitustilanteita ja tunnistaa resurssien vajaakäyttö. (Vollmann ym. 2005, s. 285-286.)

### 2.1.1.6 Menetelmien käyttö ja soveltuvuus

**Taulukko 5** Kapasiteettisuunnittelun menetelmien ominaisuudet

Menetelmä	Ominaisuudet	Lähtötiedot	Soveltuvuus
<b>Capacity planning using overall factors, CPOF</b>	Yksinkertaisin kapasiteetin karkeasuunnittelun menetelmistä	Perustuvat suoraan kirjanpidosta saatavaan tietoon	Suoraviivaiset ja selkeät tuotantolaitokset
<b>Capacity bills</b>	Sisältää yhteyden tuotantosuunnitelmassa olevan yksittäisen lopputuotteen ja tuotantosolun kapasiteetti tarpeen välillä	Tiedot tuotantolinjastosta, lopputuotteiden osaluettelot sekä tarkat tiedot yksittäisen työvaiheen vaatimista kone- tai työtunneista	Just-in-time-toimintaympäristöt
<b>Resource profiles</b>	Huomioi resurssitarpeen ajoituksen yksittäisellä työpisteellä tiettyyn aikaan	Lopputuotteen ja komponentin tuotannon läpimenoajat	Monimutkaiset ja tarkkuutta vaativat tuotantolaitokset
<b>Capacity requirements planning, CRP</b>	Ennakoi suunniteltujen töiden toteutukseen tarvittavia resursseja. Sisältää määrät, reititykset, aikastandardit, läpäisyajat, suunnitellut tilaukset.	Tarkat tiedot yrityksen kapasiteetti- ja valmistusrakenteesta	Monimutkaiset ja haastavat tuotantoprosessit

Kapasiteettisuunnittelun menetelmien sovellettavuus erilaisiin toimintaympäristöihin vaihtelee vaaditusta tarpeesta ja tarkkuudesta riippuen (Taulukko 5). Toimintaympäristön luonnehdinnan kannalta tärkeimpiä muuttujia ovat tuotteeseen, kysyntään sekä tuotantoprosessiin liittyvät tekijät. CPOF-menetelmä on altis lopputuotteen kysynnän muutoksille ja lisäksi menetelmän tehokas hyödyntäminen edellyttää tuotteiden yhdenmukaisuutta, sillä se ei tunne eroa eri tuotteiden valmistuksessa. Monimutkainen tuoterakenne ja pitkät toimitusajat suhteutettuna suunnittelujakson pituuteen huonontavat CPOF-menetelmällä saavutettavien kapasiteettiarvioiden tarkkuutta. Menetelmällä voidaan saavuttaa hyötyjä kuitenkin tilanteissa, joissa halutaan arvioida miten erilaisissa tuotantosuunnitelmissa tapahtuvat muutokset muuttavat kokonaiskapasiteetintarvetta. Näin ollen menetelmän avulla kyetään ennakoimaan esimerkiksi pullonkaula-tilanteet jo ennen niiden syntymistä tai vaihtoehtoisesti kysynnän pienentyessä saada nopeasti selville mistä kapasiteettia vapautuu ja kuinka paljon. (Vollmann ym. 2005, s. 284, 301.)

CPOF-menetelmään verrattuna Capacity bills -menetelmä on huomattavasti kehittyneempi, sillä se ottaa huomioon myös erilaiset lopputuotteet. Tämä on tärkeää erityisesti just in time-ympäristöissä, jossa tuotantoketjussa ei voi olla viivästyksiä tai muita tuotannon sujuvuutta rajoittavia tekijöitä. Toisaalta tuotteiden kapasiteetintarpeiden erojen ollessa erittäin pieniä, CPOF-menetelmän yksinkertaisuutta voidaan hyödyntää, mikäli sen koetaan tuovan lisäarvoa. Myös Capacity bills -menetelmä olettaa, että valmistus ja jakelu tapahtuvat saman periodin aikana. Tekniikassa käytettävän periodin pituutta ei kuitenkaan ole järkevää pidentää äärettömän pitkäksi, sillä se tekee ennusteesta hyödyttömän. Resource profiles -menetelmä sen sijaan huomioi ajoituksen ja soveltuu sen vuoksi hyvin tuotteille, joilla on pitkä toimitusaika. (Vollmann ym. 2005, s. 286-288.)

Tuotannon kapasiteettisuunnittelun menetelmien eroja ja käytettävyyttä on tarkasteltu tarkemmin Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa. Tämän tutkimuksen mukaan teollisuuden yritykset käyttävät kapasiteettisuunnittelun menetelmiä laajasti. Eri tekniikat soveltuvat erityyppisiin toimintaympäristöihin, ja yritysten niillä saavuttamat hyödyt vaihtelevat. Käytetyin menetelmä oli kapasiteetin tarvelaskenta, jota käytti yli 81 % yrityksistä. Toiseksi käytetyin CPOF-menetelmä oli käytössä 57 %:lla yrityksistä. Capacity Bills- ja Resource profiles-menetelmiä käytti molempia 30 % yrityksistä. Suunnittelun aikahorisontilla on myös vaikutusta menetelmän valintaan. Pitkän tähtäimen kapasiteettisuunnitteluun käytetyin menetelmä oli CPOF, kun taas lyhyemmän aikaperspektiivin suunnittelussa hyödynnettiin kapasiteetin tarvelaskentaa (CRP). (Jonsson & Mattson, 2003, s. 91.)

Kapasiteettisuunnitteluun kehitettyjen menetelmien periaatteita voidaan osaltaan hyödyntää myös tässä työssä, sillä kiinteistöhoito on luonteeltaan periodimaista ja tietyillä töillä on tarkat suoritusajankohdat. Kiinteistöhoitajan voidaan ajatella toimivan tietyn kapasiteetin rajoissa, ja tämä kapasiteetti tulee saada jaettua järkevästi hoidettavien töiden suhteen vuoden aikana. Lisäksi kapasiteettisuunnittelussa käytetty resurssien profilointi voidaan yhdistää kiinteistöhoitoon, sillä myös kiinteistönhoidossa tarvitaan erilaisia eri ominaisuudet omaavia resursseja (lumikoneet, ruohonleikkurit, henkilöstö yms.) suorittamaan tiettyjä töitä tiettyyn aikaan.



## **2.1.2 Palvelutuotannon kapasiteettisuunnittelu**

### **2.1.2.1 Henkilöstön mitoittamisen menetelmät**

Tuotannon kapasiteettisuunnittelun lisäksi tässä työssä tarkastellaan palvelutuotannon kapasiteettisuunnittelua. Palvelutuotanto on suoraan sidoksissa henkilöstön määrään ja laatuun. Henkilöstöresurssien suunnittelun lähtökohtana on pyrkimys huomioida tulevaisuuden tarpeita, joihin sisältyvät sekä lyhyen että pitkän tähtäimen suunnitelmat. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon niin työntekijöiden vaihtuvuus sekä eläkkeelle siirtymisten ajankohdat. Tarkastellun kirjallisuuden perusteella erityisesti myyntihenkilöstön koon määrittämiseen on kehitetty ominaisuuksiltaan hyödyllisiä malleja, joita tarkastellaan lähemmin seuraavissa kappaleissa. Kiinteistönhoito ja siihen liittyvät tehtävät ovat myös luonteeltaan palvelutuotantoa vastaavia, joten kiinteistönhoidon resurssien kapasiteetin suunnittelussa voidaan hyödyntää osittain palvelutuotannon ja erityisesti juuri myyntihenkilöstön kapasiteetin suunnitteluun kehitettyjä menetelmiä.

Myyntihenkilöstön koko riippuu yrityksen liiketoimintastrategiasta, henkilöstön rakenteesta, henkilöstön kokemus- ja taitotasosta, myyntialueiden koosta sekä asiakkaiden määrästä. Myyntihenkilöstön suunnittelu tähtää siihen, että organisaatiossa työskentelee oikea määrä oikeita henkilöitä oikeissa tehtävissä oikeaan aikaan. Myyntihenkilöstön koon määrittämisessä tulee ottaa huomioon, että ammattitaitoisen myyntihenkilöstö on yritykselle tärkeä mutta samalla kallis voimavara. Näin ollen tulee löytää oikeanlainen tasapaino kasvavan myynnin ja kustannusten suhteen. (Johnston & Marshall, 2003, s. 142.)

Henkilöstöasioita ohjataan henkilöstösuunnitelman avulla, johon vaikuttavat mm. toimintastrategia, budjetti ja suhdanne-ennusteet. Henkilöstön määrän määrittämiseen on kehitetty erilaisia malleja, joiden pohjalta voidaan määrittää tarvittavan henkilöstön lukumäärä. Tässä luvussa käsitellään tarkemmin neljää myyntihenkilöstön mitoittamiseen kehitettyä mallia. Tavoitteena on luoda kokonaiskuva eri menetelmistä ja niiden perusajatuksista. Käsiteltäviä malleja tässä tapauksessa ovat:

- Work Load-menetelmä
- Breakdown-menetelmä
- Incremental-menetelmä
- Activity-Based-menetelmä

(Kotler & Lane Keller, 2012, s. 578; Zoltners ym. 2004, s. 216-218; Johnston & Marshall, 2003, s. 143.)

### **2.1.2.2 Work Load- menetelmä**

Menetelmän perusajatuksena on, että koko myyntihenkilöstön tulisi jakaa keskenään sama työkuorma. Menetelmän tavoitteena on tunnistaa ja ennakoida tarvittavan työn määrä koko markkinalle ja tämän perusteella jakaa kokonaistyömäärä myyjien kesken. Menetelmä sisältää kuusi askelta, joiden avulla määritetään tarkempi henkilöstön koko (kuva 5). (Johnston & Marshall 2003, s. 143.)



**Kuva 5** Askeleet myyntihenkilöstön koon määrittämiseen käyttäen Work Load-menetelmää (Johnston & Marshall 2003, s. 144.)

Ensimmäisessä vaiheessa kaikki yrityksen asiakkaat jaetaan eri kategorioihin esimerkiksi myynnin määrän, luottoluokituksen, potentiaalin tai markkinatyypin mukaan. Asiakkaat voidaan jakaa esimerkiksi A-, B- ja C-luokan asiakkaisiin. Esimerkitapauksessa asiakkaat, joita on yhteensä 1030, jaetaan seuraavasti:

- A-luokka: Isot ja erittäin kiinnostavat: 100
- B-luokka: Keskikokoiset ja melko kiinnostavat: 350
- C-luokka: Pienet ja kiinnostavat: 480 (Johnston & Marshall, 2003 s. 144.)

Toisessa vaiheessa määritellään kuinka usein tietylle asiakkaalle soitetaan ja kuinka pitkiä puhelut ovat. Puheluiden taajuuksien ja keston määrittämiseen käytetään historiatietoja tai johdon kokemukseen perustuvia tietoja. Esimerkiksi A-luokan asiakkaille soitetaan joka toinen viikko, B-luokan asiakkaille kerran kuussa ja C-luokan asiakkaille joka toinen kuukausi. Puheluiden keston määritellään esimerkiksi seuraavasti:

- A-luokka:  $26 \text{ a/vuosi} \times 60 \text{ min/puhelu} = 1560 \text{ minuuttia tai } 26 \text{ tuntia}$
- B-luokka:  $12 \text{ a/vuosi} \times 30 \text{ min/puhelu} = 360 \text{ minuuttia tai } 6 \text{ tuntia}$
- C-luokka:  $6 \text{ a/vuosi} \times 20 \text{ min/puhelu} = 120 \text{ minuuttia tai } 2 \text{ tuntia}$  (Johnston & Marshall 2003, s. 145.)

Kolmannessa vaiheessa määritetään työkuorma, joka kattaa koko markkinan. Kokonaistyökuorma jokaisessa luokassa saadaan kertomalla jokaisen luokan asiakkaiden määrä luokkaan käytetyllä kokonaisajalla. Tämän jälkeen eri luokkien kokonaisajat summataan yhteen, jotta saadaan koko yrityksen myyntiin tarvittava kokonaisaika.

- A-luokka: 200 asiakasta x 26 h/asiakas = 5200 tuntia
- B-luokka: 350 asiakasta x 6 h/asiakas = 2100 tuntia
- C-luokka: 480 asiakasta x 2 h/asiakas = 960 tuntia
- Kokonaisaika: 8260 tuntia (Johnston & Marshall 2003, s. 145.)

Neljännessä vaiheessa määritetään yksittäisen myyjän käytettävissä oleva aika. Tämän laskemiseksi tarvitaan tieto tyypillisen myyjän viikkotyöajasta kerrottuna vuodessa olevien viikkojen määrällä. Esimerkiksi keskimääräinen myyjän viikkotyöaika on 40 tuntia ja vuodessa myyjän odotetaan työskentelevän 48 viikkoa, jossa on otettu huomioon lomat ja sairauspoissaolot. Näin ollen vuoden kokonaistuntimääräksi tulee 1920 tuntia. (Johnston & Marshall 2003, s. 145.)

Viidennessä vaiheessa jaetaan myyjän kokonaistyöaika osiin, sillä aikaa kuluu paljon muuhunkin kuin vain pelkkään soittojen tekemiseen. Matkustus ja erilaiset tukitoiminnot vievät suurimman osan työntekijän ajasta. Esimerkiksi voidaan olettaa, että myyntiin kuluu kokonaistyöajasta 40 %, tukitoimintoihin 30 % ja matkustamiseen 30 % käytettävissä olevasta kokonaistyöajasta:

- Myynti 40 % = 768 h/vuosi
- Tukitoiminnot 30 % = 576 h/vuosi
- Matkustaminen 30 % = 576 h/vuosi
- Yhteensä 100 % = 1920 h/vuosi (Johnston & Marshall 2003, s. 145.)

Viimeisessä vaiheessa voidaan laskea edellisten vaiheiden pohjalta myyntihenkilöstön kokonaistarve. Tämä saadaan jakamalla koko markkinaa kuluva kokonaistuntimäärä yksittäisen myyjän myyntiin vuodessa käyttämällä tuntimäärällä:  $8260 \text{ h} / 768 \text{ h/myyjä} = 10,75$  myyjää. (Johnston & Marshall 2003, s. 145).

Kaiken kaikkiaan Work Load-menetelmä on yleinen ja käytetty tapa määrittellä myyntihenkilöstön koko. Se on helppo ymmärtää ja se ottaa huomioon että erilaisille asiakasluokille soitetaan erilaisilla taajuuksilla. Myös lähtötiedot on helposti saatavilla eikä niiden määrittelyyn tarvita monimutkaisia menetelmiä. Menetelmällä on myös muutamia heikkouksia; ensinnäkin ongelmana on, että se ei tunnista eroavaisuuksia kahden saman luokan asiakkaan välillä. Kaksi saman luokan asiakasta voi esimerkiksi kuormittaa henkilöstöä eri tavoin. Menetelmä ei myöskään ota huomioon myyntipyrkimysten toistumistiheyden tuottavuutta, eikä palvelujen kustannuksia tai asiakaskohtaista myyntikatetta. Menetelmä myös olettaa, että henkilöstö käyttää aikansa yhtä tehokkaasti. Saattaa kuitenkin olla, että jotkut hoitavat muun työn tehokkaammin kuin toiset. (Johnston & Marshall 2003, s. 146.)

### **2.1.2.3 Breakdown-menetelmä**

Breakdown-menetelmä on yksinkertaisin tapa myyntihenkilöstön koon määrittämiseen. Tässä menetelmässä jokainen myyjäyksikkö edustaa keskimääräistä suoritusta, ja on näin ollen yhtä tuottava. Tarvittava myyntihenkilöstön määrä saadaan jakamalla ennustettu kokonaismyynti jokaisen myyjäyksikön todennäköisesti tuottamalla myynnin määrällä. Matemaattisesti mallin funktio on  $N = S/P$ , jossa

N = tarvittava myyntihenkilöstön lukumäärä

S = ennustettu myynnin määrä

P = myyjäyksikön arvioitu tuottavuus. (Johnston & Marshall 2003, s. 143.)

Esimerkiksi voidaan ottaa yritys, jonka ennustettu myynti on 10 miljoonaa euroa, ja jokaisen myyjäyksikön odotetaan myyvän 500 000 eurolla. Tässä tapauksessa yritys tarvitsee 20 myyjää (10/0,5). Kaavan perusajatus on helppo, mutta siinä on myös omat rajoituksensa. Menetelmän logiikka on käänteinen; se käsittelee myyntihenkilöstöä myynnin seurauksena, kun loogisesti ajateltuna myynti on seurausta myyntihenkilöstön ponnisteluista. Ongelmana voidaan pitää myös mallin kyvyttömyyttä ottaa huomioon henkilökohtaisten ominaisuuksien vaikutusta myyjäyksikön tuottamaan myynnin määrään. Myyjäyksikön tuottama keskimääräinen myynti tietyssä aikana on helposti laskettavissa, mutta keskiarvoja käytettäessä jätetään helposti huomioimatta joitakin tärkeitä tekijöitä. Näitä ovat esimerkiksi myymälöiden erilaiset olosuhteet, myynnin valmisteluun käytettävä aika sekä myyjän henkilökohtaiset ominaisuudet. Suoritusteholtaan parhaalla myyjällä voi olla keskimääräistä alhaisempi myynti, jos hän työskentelee osastolla, jossa esimerkiksi välimatkat ovat pitkiä. Menetelmässä ei oteta huomioon myöskään henkilöstön vaihtuvuutta. Uusi henkilöstö ei yleensä ole yhtä tuottavaa kuin vanha henkilöstö, joka on tehnyt samaa työtä jo kauan. Jos näitä seikkoja halutaan ottaa huomioon, tulee laskentamallia oikaista käsin. Kaavaa voidaan muokata niin, että siinä otetaan huomioon esim. myös henkilöstön vaihtuvuus, mutta siinä tapauksessa kaavan kompleksisuus lisääntyy ja käyttö vaikeutuu. Kokonaisuudessaan Breakdown-menetelmä tarjoaa helpon ja yksinkertaisen tavan myyntihenkilöstön koon määrittämiseen tietyillä rajoituksilla. (Johnston & Marshall 2003, s. 143.)

#### 2.1.2.4 Incremental-menetelmä

Incremental-menetelmässä (lisäysmenetelmässä) myyjien määrää lisätään siihen asti, kunnes myyjien lisäyksen tuottama lisävoitto ylittää aiheutetut lisäkustannukset. Menetelmä ottaa myös huomioon, että myyjien lisäys alentaa tuottoja. Esimerkiksi ensimmäisen myyjän tuottaessa 30 000 euroa ja seuraavan 55 000 euroa, ensimmäisen myyjän tuottama lisämyynti on 30 000 euroa, kun toisen on enää 25 000 euroa. Lisäksi jos kolmannen myyjän tuottama lisämyynti olisi 22 500 euroa ja neljännen 20 000 euroa, kaikkien neljän myyjän lisääminen kasvattaisi myyntiä yhteensä 97 500 euroa. Näin ollen yrityksen voittomarginaali olisi 20 % ja yhden lisämyyjän palkkaaminen maksaa 5000 euroa (taulukko 6). (Johnston & Marshall 2003, s. 146.)

**Taulukko 6** Incremental-menetelmän havainnollistaminen

Lisämyyjien lukumäärä	Lisätulo yhteensä	Lisämyyjän tuottama lisätulo	Lisävoitto yhteensä (20 %)	Lisämyyjän tuottama lisävoitto	Lisäkustannus yhteensä	Lisämyyjän aiheuttama lisäkustannus
1	30 000 €	30 000 €	6 000 €	6 000 €	5 000 €	5 000 €
2	55 000 €	25 000 €	11 000 €	5 000 €	10 000 €	5 000 €
3	77 500 €	22 500 €	15 500 €	4 500 €	15 000 €	5 000 €
4	97 500 €	20 000 €	19 500 €	4 000 €	20 000 €	5 000 €

Taulukkoon on koottu lisämyyjien palkkauksen vaikutukset kustannuksiin. Taulukossa nähdään, että kahden myyjän lisäys olisi vielä kannattavaa, koska lisäyksellä saavutettu voitto on suurempi kuin sen aiheuttamat kustannukset. Kolmannen myyjän lisääminen on jo tappiollista (5000€ > 4500€). Incremental-menetelmän etuna henkilöstön koon mitoituksen määrittämisessä on se, että menetelmä ottaa huomioon myyjien lisäyksestä

aiheutuvat kustannukset. Lisäksi menetelmä huomioi myyjien lisäyksestä johtuvan voittojen suhteellisen pienenemisen. (Johnston & Marshall 2003, s. 146.)

Incremental-menetelmä on yksi vaikeimmin käytettävistä menetelmistä myyntihenkilöstön koon määrittämiseen. Käytännössä menetelmää on vaikea soveltaa käytäntöön, sillä myyjien lisäyksen johdosta tulevaa voittoa on vaikea määritellä. Voitto voi riippua mm. myyjän tuottamasta lisäliikevaihdosta ja myyntialueiden muodostumisesta. (Johnston & Marshall 2003, s. 147.)

### 2.1.2.5 Activity Based-menetelmä

Aktiviteettiin perustuvassa menetelmässä asiakkaat luokitellaan eri segmentteihin ja näiden pohjalta luodaan lista myyntihenkilöstön aktiviteeteista, joita tarvitaan kunkin segmentin myynnin yhteydessä. Näille aktiviteeteille määritetään etukäteen niiden vaatima aika, jonka perusteella voidaan laskea myyntihenkilöstön kokonaismäärä. Taulukosta 7 nähdään, että asiakkaat on jaettu kuuteen eri markkinasegmenttiin ja jokaiselle segmentille on asetettu saavutettavien asiakkaiden tavoite kokonaismäärästä. Tämän jälkeen tulee määritellä aktiviteetit ja niiden vaatima aika vuodessa. Lopuksi myyntihenkilöstön vuotuinen kokonaistyöaika määritetään, jonka perusteella voidaan laskea myyntihenkilöstön kokonaistarve. Esimerkiksi markkinasegmentti 1 vaatima myyjien määrä saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:  $(1600 \times 20 \% \times 28,9 \text{ h/v/asiakas}) / 1490 \text{ h/myyjä/vuosi} = 6,2 \text{ myyjää}$ . (Zoltners ym. 2004, s. 242-243.)

**Taulukko 7** Aktiviteettiin perustuvan mitoituksen laskeminen (Zoltners ym. 2004, s. 242)

Markkinasegmentti	1	2	3	4	5	6
Asiakkaiden lukumäärä	1600	900	330	650	850	100
Saavutettava osuus %	20,00 %	18,00 %	12,00 %	35,00 %	10,00 %	65,00 %
<b>Tehtävät (t/vuosi)</b>						
<i>Puhelun suunnittelu</i>	5,8	11,5	30,3	7,6	5,4	6,9
<i>Puhelu: tekninen</i>	7,2	9,4	18,4	9,4	9,5	6
<i>Puhelu: ei-tekninen</i>	6,4	12,1	17,1	7,2	6,3	6,6
<i>Puhelun jälkeiset aktiviteetit</i>	6,6	11	36,9	6,8	5,7	6,3
<i>Erikoistilanteet</i>	2,9	8,4	29	5	4,7	4,2
<b>Kokonaisaika (t/vuosi/asiakas)</b>	28,9	52,4	131,7	36	31,6	30
<b>Kokonaisasiakasmäärä</b>	320	162	39,6	227,5	85	65
<b>Kokonaisaika (t/vuosi)</b>	9248	8488,8	5215,32	8190	2686	1950
<b>Myyjän vuosittainen työaika</b>	1490	1490	1490	1490	1490	1490
<b>Myyjien tarve</b>	<b>6,2</b>	<b>5,7</b>	<b>3,5</b>	<b>5,5</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>

Aktiviteettiin perustuvan menetelmän lähtötiedot voivat tulla monesta eri lähteestä. Myyntihenkilöstö ja myyntipäälliköt voivat määritellä tiettyihin prosesseihin ja tehtäviin kuluvaan ajan kokemuksen ja edellisten vuosien perusteella. Tarkempia tietoja saadaan edellisten vuosien puhelu- ja lokitiedoista sekä myyjien suoritusotteista. Lisäksi asiakkaat, jakelijat ja muut organisaatiot voivat olla määrittelemässä tehtäviin kuluvaan aikaa. Lopuksi yritys voi tarkkailla kilpailijoiden ja muiden toimialojen asettamia vaatimuksia asiakkaiden vaatimuksille. (Zoltners ym. 2004, s. 244.)

Aktiviteettiin perustuva myyntihenkilöstön määrittämisen menetelmä on yksi helpoimmista ja halvimista menetelmistä henkilöstön määrittämiseen. Se on käytössä niissä yrityksissä, joilla on jo ennestään vahva aavistus oikeasta henkilöstön koosta ja jotka tarvitsevat nopeasti vastauksia tämän koon määrittämiseen. Menetelmä soveltuu erittäin hyvin yrityksiin, joissa myyntihenkilöstö toimii hyvin määritellyissä ja rutiininomaisissa tilanteissa. Menetelmän heikkoutena on kuitenkin se, ettei menetelmä yhdistä myyntihenkilöstön ponnisteluista saavutettuihin tuloksiin. Näin ollen menetelmä soveltuu tilanteisiin missä yhteyttä myyntihenkilöstön ponnisteluista johtuviin tuloksiin ja normaalisti saavutettuihin tuloksiin olisi muutenkin vaikea määritellä. (Zoltners ym. 2004, s. 259.)

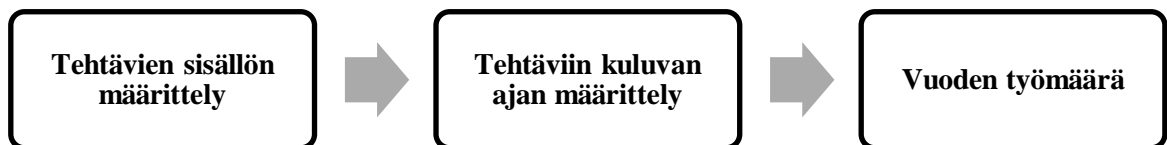
### 2.1.2.6 Menetelmien käyttö ja soveltuvuus

**Taulukko 8** Yhteenvedo myyntihenkilöstön koon mitoittamiseen kehitetyistä malleista

Menetelmä	Ominaisuudet	Lähtötiedot	Heikkoudet
<b>Work Load</b>	Menetelmän tavoitteena on tunnistaa ja ennakoida tarvittavan työn määrä koko markkinalle asiakassegmenteittäin, ja tämän perusteella jakaa kokonaistyömäärä myyjien kesken.	Puhelutaajuudet ja kestot, Vuosittainen kokonaistyöaika, Asiakassegmenttien ominaisuudet	Ei tunnista eroja kahden saman luokan asiakkaan välillä.  Ei ota huomioon asiakaskohtaista myyntikatetta tai myyjien eroa.
<b>Breakdown</b>	Tarvittava myyntihenkilöstön määrä saadaan jakamalla ennustettu kokonaismyynti jokaisen myyntiyksikön todennäköisesti tuottamalla myynnin määrällä.	Ennustettu myynnin määrä, Myyjäyksikön arvioitu tuottavuus.	Mallin kyvyttömyys ottaa huomioon henkilökohtaisten ominaisuuksien vaikutusta myyjäyksikön tuottamaan myynnin määrään.
<b>Incremental</b>	Mallissa myyjien määrää lisätään siihen asti kunnes myyjien lisäyksen tuottama lisävoitto ylittää aiheutetut lisäkustannukset. Huomioi myyjien lisäyksestä johtuvan voittojen suhteellisen pienenemisen.	Myyjän lisäyksestä johtuva lisätulo ja –kustannus.	Haastavaa soveltaa käytäntöön, sillä myyjien lisäyksen johdosta tuleva voitto on vaikea määritellä.
<b>Activity-Based</b>	Asiakkaat luokitellaan segmentteihin ja luodaan lista myyntihenkilöstön aktiviteeteista. Määritellään aktiviteetteihin kuluva aika, jonka pohjalta saadaan laskettua myyjien tarve.	Aktiviteetteihin kuluvat ajat voidaan määritellä kokemuksen, myyntitietojen tai asiakkaiden mukaan.	Menetelmä ei yhdistä myyntihenkilöstön ponnisteluista saavutettuihin tuloksiin.

Palvelutuotannon ja erityisesti myyntihenkilöstön kapasiteetin suunnittelemiseen kehitetyt menetelmät tarjoavat ratkaisuja erityyppisiin olosuhteisiin ja tilanteisiin. Menetelmät tarvitsevat erilaisia lähtötietoja ja näin ollen menetelmien käytettävyys ja ominaisuudet vaihtelevat (taulukko 8). Perusajatuksena jokaisessa menetelmässä on oikean resurssitarpeen löytäminen. Henkilöstöresurssien suunnittelu tähtää siihen, että organisaatiossa työskentelee oikea määrä oikeita henkilöitä oikeissa tehtävissä oikeaan aikaan. Tarkastellut menetelmät sisältävät hyödyllisiä ominaisuuksia kiinteistönhoidon resurssien mitoittamista ajatellen. Kiinteistönhoidon resurssien mitoittamista ajatellen parhaita menetelmiä ovat Work Load ja Activity Based-menetelmät, sillä ne ottavat huomioon yksittäisten tehtävien ominaisuudet ja niihin käytettävän ajan.

Kiinteistönhoidossa on samalla tavalla erikseen määritellyt tehtävät (aktiviteetit), joille on laskettu etukäteen tähän tehtävään kuluva aika. Käsitelty tuotannon ja palvelutuotannon kapasiteettisuunnitteluun kehitetyt menetelmät soveltuvat täten kiinteistönhoidon kapasiteettisuunnitteluun, sillä kiinteistöhoito on luonteeltaan periodimaista ja tietyillä töillä on tarkat suoritusajankohdat. Kiinteistöhoitajan voidaan ajatella toimivan tietyn kapasiteetin rajoissa, ja tämä kapasiteetti tulee saada jaettua järkevästi hoidettavien töiden suhteen vuoden aikana. Lisäksi kiinteistönhoidossa tulee määritellä etukäteen tiettyyn yksittäiseen tehtävään kuluva aika ja tämän tehtävän toistuvuus. Tätä kautta saadaan laskettua vuosittainen yhden henkilön työmenekki ja päästään käsiksi kokonaiskapasiteetin tarpeeseen (kuva 6).



**Kuva 6** Kiinteistönhoidon kapasiteetin laskennan idea

## 2.2 Optimointi

### 2.2.1 Optimointimenetelmät

#### 2.2.1.1 Optimoinnin teoria

Yleisesti ottaen optimoinnissa lähtökohtana on todellisuutta kuvaava malli, optimointimalli, joka koostuu kohdefunktiosta, rajoitusehdoista ja päätösmuuttujista. Optimointi on tiettyjen määriteltyjen resurssien käyttöä parhaalla mahdollisella tavalla, ja haluttujen tavoitteiden mukaisesti. Lyhyesti optimointi tarkoittaa parhaan mahdollisen toimintatavan löytämistä. Optimointiongelman yleinen esitysmuoto on

*minimoi/maksimoi  $f(x)$  suhteessa*

$$g_i(x) \leq 0, i = 1, \dots, m$$

$$h_i(x) = 0, i = 1, \dots, p$$

$$x \in R^n, g_i(x) \in R^m, h_i(x) \in R^p$$

jossa  $x$  on päätösmuuttujan tai päätösmuuttujat sisältävä päätösvektori,  $f(x)$  on kohdefunktio,  $g_i(x)$  on epäyhtälörajoitukset ja  $h_i(x)$  on yhtälörajoitukset. Optimointiongelma voi olla lisäksi rajoitteellinen tai rajoitukseton. (Hopfe 2009, s. 97-98.)

Optimointiongelman ratkaisussa on tavoitteena tarkastella eri kohdefunktioita systemaattisesti niihin liittyvien päätöksentekijöiden suhteen. Kohdefunktiot voidaan määritellä laskennallisesti eri tavoitteiden mukaan. Kohdefunktio voi olla päätösmuuttujien suhteen joka lineaarinen tai epälineaarinen. Lineaarisuus myös määrittää käytettävän optimointitekniikan. Lineaaristen optimointitehtävien ratkaisu on yleisesti ottaen suhteellisen helppoa ja nopeaa. Lineaarissa optimoinnissa sekä tavoitefunktio, että rajoitteet ovat lineaarisia funktioita. Käytännön sovelluksissa, varsinkin useita muuttujia ja rajoitusehtoja sisältävissä tilanteissa, päätösongelmat pyritään ratkaisemaan monesti lineaarisilla malleilla. Epälineaarissa optimointitehtävässä kohdefunktiolle ja rajoitusehdoille ei aseteta varsinaisia vaatimuksia. Epälineaarissa optimoinnissa tavoitefunktio, yksi tai useampi rajoitefunktio tai molemmat ovat epälineaarisia. Erilaisia ratkaisumenetelmiä tehtäville on useita, ja monet niistä perustuvat funktioiden derivaattojen käyttöön. Koska mallin rakenteesta ei tehdä oletuksia, tehtävän ratkaisu vaikeutuu ja laskentaan tarvittava aika tyypillisesti kasvaa. (Hopfe 2009, s. 98-99.)

Kohdefunktiosta riippuen käytetyn optimointimenetelmän ratkaisu voi olla globaali tai lokaali. Globaalissa ratkaisussa kohdefunktion suurin tai pienin arvo riippuen siitä, onko optimoinnin tavoitteena maksimoida vai minimoida kohdefunktion arvo. Optimointimenetelmän ratkaisu voi myös olla lokaali, missä tapauksessa kohdefunktio saa pienimmän tai suurimman arvon kyseisessä ympäristössä tai alueessa, mutta ei ole optimaalinen koko kohdefunktion arvoalueella. (Hopfe 2009, s. 99-100.)

#### 2.2.1.2 Monitavoiteoptimointi

Monitavoiteoptimoinnissa on useita erilaisia tavoitteita, eli useita objektifunktioita. Kuvaava on, että nämä tavoitteet ovat yleensä ristiriitaisia ja yhteismitattomia. Monitavoiteoptimoinnin tavoitteena on etsiä paras kompromissi useiden ristiriitaisten tavoitteiden väliltä. Yksiselitteisen optimin sijaan käsiteltävänä on joukko



kompromissiratkaisuja ja Pareto-optimeja, joissa yhdenkin tavoitteen arvon parantaminen on mahdollista vain huonontamalla jonkin toisen tavoitteen arvoa. Parhaan ratkaisun valitseminen matemaattisessa mielessä keskenään yhtä hyvien kompromissiratkaisujen joukosta edellyttää päätöksentekijän osallistumista, ja näin ollen monissa monitavoiteoptimoinnin menetelmissä tarvitaan päätöksentekijää valitsemaan sopivin muodostetuista ratkaisuvaihtoehdoista. (Eskelinen & Miettinen 2011, s. 803-804.)

Monitavoiteoptimointiongelma on muotoa

$$\text{minimoi/maksimoi } f(x) = \{f_1(x), \dots, f_k(x)\}$$

$$\text{riippuen } x \in S$$

jossa  $k \geq 2$ ,  $f(x)$  on kohdefunktion muodostama vektori.  $S$  on päätösvektoreiden mahdollinen osajoukko koko päätösmuuttuja-avaruutta kuvaavasta joukosta ja se sisältää myös yhtälörajoitukset. Päätösmuuttujat määräävät kohdefunktion arvon ja ne voivat olla joko diskreettejä tai jatkuvia. Päätösmuuttujia voi olla useita ja ne voivat kuvata käytettävissä olevaa resurssia tai jonkin toiminnan aktiivisuutta. Päätösmuuttujia ja niiden rajoituksia määritettäessä on otettava kuitenkin huomioon, että päätösmuuttujat kuvaavat kaikkia käytettävissä olevia vaihtoehtoja, joilla voidaan vaikuttaa kohdefunktion arvoon. (Eskelinen & Miettinen 2011, s. 806.)

Monitavoiteoptimoinnissa kohdefunktioiden ratkaisuja voidaan vertailla niiden dominoinnin perusteella. Pareto-optimaaliseksi joukoksi kutsutaan sellaista päätösvektoreiden joukkoa, jota ei dominoida. Pareto-optimaalisten joukkojen yhteydessä käytetään ”trade-off”-termiä, jonka avulla kuvataan Pareto-optimaalisen ratkaisun valinnassa tehtäviä kompromisseja kohdefunktioiden kesken. Tosin sanoen päätöksentekokriteerit ovat yleensä keskenään ristiriitaisia eli jonkin kriteerin mukaan hyvä ratkaisupiste onkin toisen mukaan huono. Sallittu piste ei kuitenkaan voi olla paras, jos on muita sallittuja pisteitä, jotka ovat vähintään yhtä hyviä jokaisen kriteerin suhteen. Sallittu piste on Pareto-optimaalinen, mikäli ei ole yhtään sallittua pistettä, joka on ainakin yhtä hyvä kaikkien kriteerien suhteen ja aidosti parempi yhden kriteerin suhteen. (Eskelinen & Miettinen 2011, s. 807-808.)

### **2.2.1.3 Geneettiset algoritmit**

Monitavoiteoptimointiin liittyy läheisesti geneettiset algoritmit, jotka kehitettiin alun perin 1970-luvulla Michiganin yliopiston professorin John Hollandin toimesta. Geneettiset algoritmit ovat luonnon evoluutiomekanismeja imitoivia heuristisia optimointimenetelmiä ja ne soveltuvat parhaiten tehtäviin, joissa ratkaisuavaruus on suuri ja joissa likimääräisenkin optimi riittää ratkaisuksi. Geneettisissä algoritmeissa optimointitehtävän mahdolliset ratkaisut esitetään merkkijonoina, jotka vastaavat kromosomeja. Merkkijonojen alkiot ovat binääriarvoisia, mutta joissain tapauksissa merkkijonojen alkiot voivat myös saada useampiakin arvoja. Merkkijonoista muodostetaan optimointitehtävän alussa satunnainen alkupopulaatio, josta aletaan kehittää uusia sukupolvia imitoimalla luonnonvalintaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että uusi sukupolvi muodostuu aina edellisen sukupolven parhaiden yksilöiden jälkeläisistä. Jälkeläisten syntymistä imitoidaan geneettisillä operaattoreilla, ja uusia sukupolvia luodaan niin kauan, kunnes on löydetty riittävän hyvä ratkaisu (kuva 7). (Luke 2009, s. 34-37.)

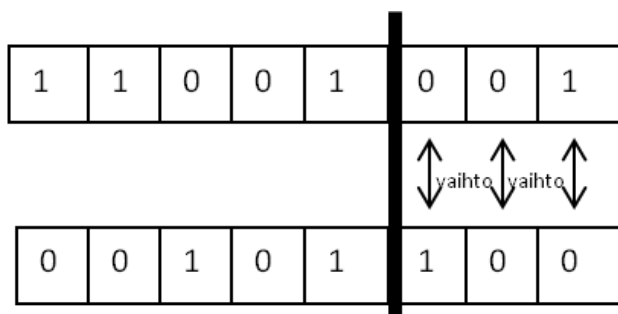
```

1:  $popsiz$   $\leftarrow$  desired population size ▷ This is basically  $\lambda$ . Make it even.
2:  $P \leftarrow \{\}$ 
3: for  $popsiz$  times do
4:    $P \leftarrow P \cup \{\text{new random individual}\}$ 
5:  $Best \leftarrow \square$ 
6: repeat
7:   for each individual  $P_i \in P$  do
8:     AssessFitness( $P_i$ )
9:     if  $Best = \square$  or Fitness( $P_i$ ) > Fitness( $Best$ ) then
10:       $Best \leftarrow P_i$ 
11:    $Q \leftarrow \{\}$  ▷ Here's where we begin to deviate from  $(\mu, \lambda)$ 
12:   for  $popsiz/2$  times do
13:     Parent  $P_a \leftarrow \text{SelectWithReplacement}(P)$ 
14:     Parent  $P_b \leftarrow \text{SelectWithReplacement}(P)$ 
15:     Children  $C_a, C_b \leftarrow \text{Crossover}(\text{Copy}(P_a), \text{Copy}(P_b))$ 
16:      $Q \leftarrow Q \cup \{\text{Mutate}(C_a), \text{Mutate}(C_b)\}$ 
17:    $P \leftarrow Q$  ▷ End of deviation
18: until  $Best$  is the ideal solution or we have run out of time
19: return  $Best$ 

```

**Kuva 7** Geneettisen algoritmin toimintaperiaate (Luke 2009, s. 35)

Geneettisiin algoritmeihin liittyy olennaisena osana geneettiset operaattorit. Geneettiset operaattorit luovat kromosomeja imitoimalla evoluutiota ja perinnöllisyyttä. Yleisimmin käytetyt geneettiset operaattorit ovat uudelleenvallinta (reproduction), risteytys (crossover) ja mutaatio (mutation). Uudelleenvallinnassa uuteen populaatioon valitaan edellisen sukupolven kromosomeja. Tässä tapauksessa paremman hyvyysfunktion arvon omaavilla kromosomeilla on suurempi todennäköisyys tulla valituksi uudelleen. Risteytyksessä risteytysoperaattori luo kahdesta kromosomista kaksi uutta kromosomia vaihtamalla osan geeneistä keskenään (kuva 8).



**Kuva 8** Risteytys (Crossover) (Luke 2009, s. 36)

Tavoitteena on hyvien alkuiden geenejä sekoittamalla löytää vielä parempia alkioita. Mutaatiossa mutaatio-operaattori valitsee kromosomista sattumanvaraisesti geenin, ja vaihtaa sen alleelin toiseksi. Tausta-ajatuksena on, että kaikki uudelleenvallinnalla tai risteytyksellä saatavat geenit periytyvät tavalla tai toisella edellisestä populaatiosta, ja näin ollen iteraatio voi helposti päättyä lokaaliin optimiin. (Luke 2009, s. 35-36.)

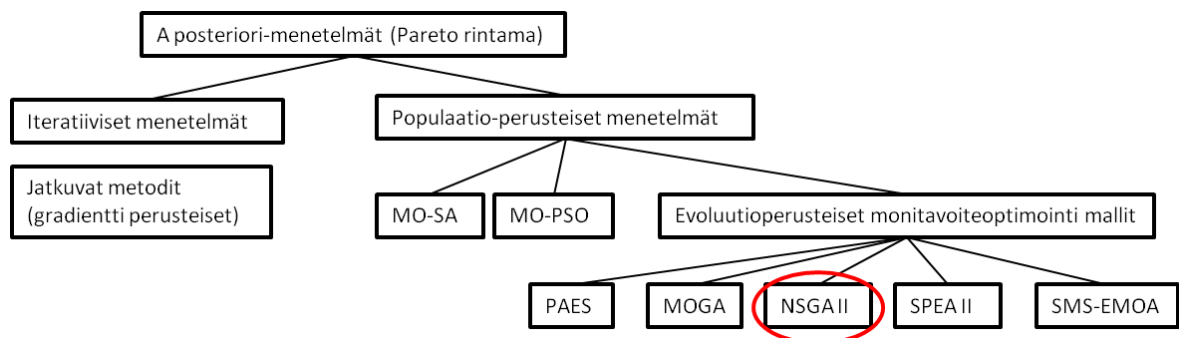
#### 2.2.1.4 Monikriteeriset päätöksentekomenetelmät

Monitavoiteoptimointiin ja geneettisiin algoritmeihin liittyy lisäksi olennaisena osana monikriteerinen päätöksenteko, joka on tuotetuista optimaalisista tuloksista valittavan ratkaisun määrittämistä, ja siten voidaan luokitella osaksi tulosten jälkikäsitteilyä. Monitavoiteoptimoinnin tuloksena saadaan joukko Pareto-optimaalisia ratkaisuja, joiden keskinäistä paremmuutta ei voi yksiselitteisesti määrittää. Tämän ongelman ratkaisemiseen on useita lähestymistapoja, joita käytetään eri konteksteissa. Yhtenä lähestymistapana on nk. monikriteeriset päätöksentekomenetelmät. Monikriteeriset päätöksentekomenetelmät voidaan jakaa niiden ominaisuuksien mukaan kolmeen pääryhmään;

- A priori,
- A posteriori tai
- preferenssittömiin menetelmiin. (Miettinen 2008, s. 2-3.)

A priori menetelmissä päätös suotuisasta lopputuloksesta pitää tehdä ennen ratkaisun etsimisen aloittamista. Menetelmän haasteena ja tietynlaisena heikkoutena on, että päätöksentekijältä vaaditaan kokemusta ja tietämystä tavoitteiden asettamisesta ja mahdollisista ratkaisujoukoista tarkasteltavan ongelman viitekehysessä. Päätöksentekijällä saattaa olla liian optimistinen tai pessimistinen odotusarvo tuloksien suhteen. A priori-menetelmissä, kuten tavoiteohjelmoinnissa (goal programming), kohdefunktioille on asetettava paino- tai raja-arvot. Tässä menetelmässä jokaiselle kohdefunktioille asetetaan tavoitearvo, jonka jälkeen näiden tavoitearvojen poikkeamat pyritään minimoimaan. Tavoiteohjelmointi on laajasti käytetty menetelmä, johtuen sen käytön helppoudesta ja perusperiaatteiden ymmärrettävyydestä. (Miettinen 2008, s. 3, 18-19.)

A posteriori-menetelmissä (kuva 9) taas tuotetaan Pareto-optimaalinen ratkaisujoukko tai sitä mahdollisimman hyvin kuvaava osajoukko. Näissä menetelmissä vasta löydettyjen ratkaisujen pohjalta tehdään päätöksiä valittavasta ratkaisusta. Menetelmissä oletetaan, että päätöksentekijä kykenee tekemään päätöksen oman preferenssisinä mukaan parhaasta ratkaisusta sen jälkeen kun hän on ensin nähnyt kokonaiskuvan kaikista mahdollisista ratkaisuksista tai niitä kuvaavista osajoukoista. Menetelmien haasteena on se, että jos ongelmassa on yli kaksi objektia, niin päätöksentekijän on vaikea analysoida siitä johtuvaa tiedon määrää. (Miettinen 2008, s. 3, 15.)



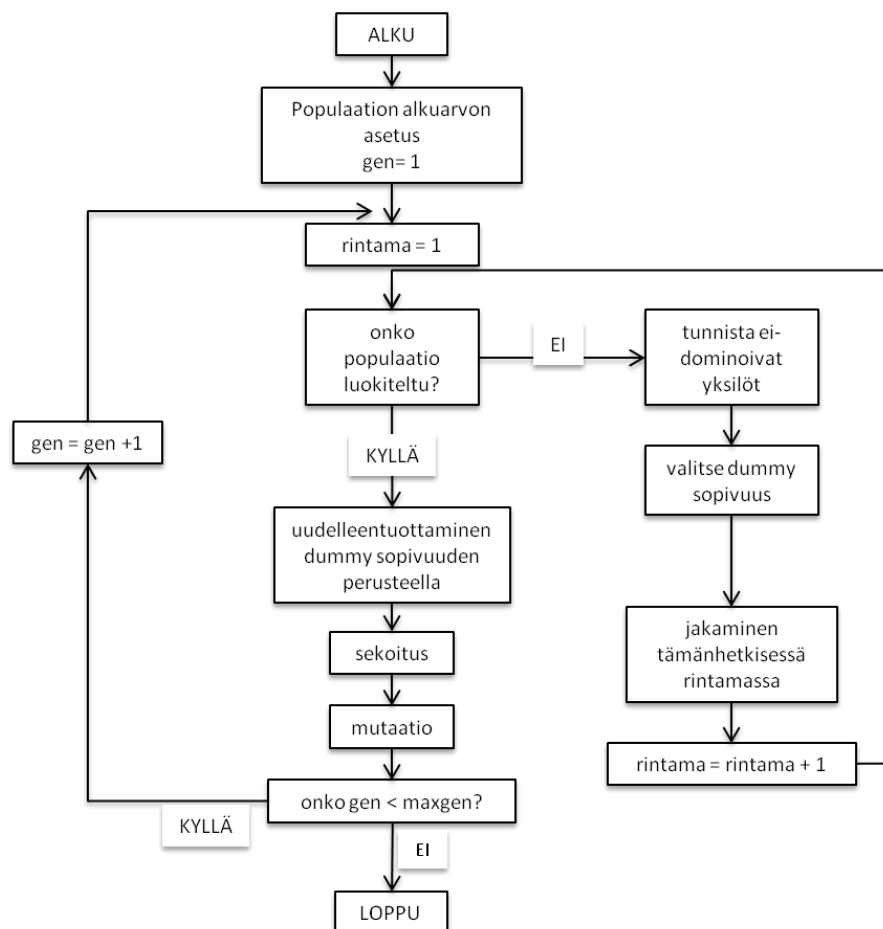
**Kuva 9** A posteriori algoritmien jakautuminen (Hopfe 2009, s. 113)

Tässä työssä käytetään A posteriori-menetelmistä NSGA II-menetelmää (Nondominated Sorting Genetic Algorithm), joka on evoluutioon perustuva monitavoiteoptimointi algoritmi. Algoritmin valintaan vaikuttivat käytettyjen kohdefunktioiden (2) ja muuttujien

(yli 5) lukumäärät sekä osaltaan Niemelän (2015) saamat tulokset rakennusten energiaoptimoinnissa tällä algoritmilla. Lisäksi optimointiohjelman kehittäjä suositteli algoritmin käyttöä tällaisissa optimointiongelmissa. (Niemelä 2015, s. 44.)

Algoritmi eroaa muista evoluutioalgoritmeista monessa suhteessa mm. pienemmän kompleksisuutensa, suuremman elitistisyytensä sekä laajemman Pareto-optimaalisten tulosten etsimisen ansiosta (Deb 2002, s. 182). Lisäksi NSGA-II:ta on käytetty viime aikoina rakennusten optimaalisen energiatehokkuuden määrittämiseen. Näissä tutkimuksissa on tullut esille algoritmin kyky tuottaa korkealaatuisia tuloksia lähellä todellista Pareto-optimia pienemmällä määrällä evaluointeja. (Hamdy ym. 2012.)

NSGA-II on NSGA-algoritmin kehittyneempi versio, joka sisältää tehokkaammat menetelmät ratkaisujen lajitteluun dominanssisuhteen mukaan sekä pyrkien samalla säilyttämään ratkaisujen monimuotoisuuden. NSGA-II lajittelee ratkaisut dominanssin perusteella. Aluksi kerätään ei-dominoidut ratkaisut ensimmäiseen ryhmään eli dominanssirintamaan. Tämän jälkeen niille annetaan fitness-arvo rintamansa mukaan ja ne poistetaan populaatiosta. Lopuksi kerätään ei-dominoivat ratkaisut toiseen ryhmään ja tätä jatketaan kunnes saavutetaan haluttu lopputulos. Seuraavaan sukupolveen valitaan vanhemmat satunnaisesti siten, että parhaiden ryhmien ratkaisuilla on paras todennäköisyys päästä lisääntymään (kuva 10). Algoritmin tehokkuus perustuu siihen, että valinta tapahtuu lajittelussa saadun fitness-arvon mukaan eikä jokaista monitavoitteisen funktion osafunktiota tarvitse laskea erikseen. (Coello 2000, s. 134.)



**Kuva 10** NSGA:n vuokaavio (Coello 2000, s. 134)

Kolmas monikriteerinen päätöksentekomenetelmä on ns. preferenssitön menetelmä. A priori ja A posteriori menetelmiin verrattuna preferenssittömissä menetelmissä ei oteta huomioon päätöksentekijää ratkaisua määrittäessä. Päätöksentekijän puuttuessa on käytettävä yksinkertaista menetelmää kompromissiratkaisun löytämiseksi, ja löydettyä neutraali kompromissiratkaisu ilman syvempää tietämystä. Preferenssittömien menetelmien tapauksessa voidaan tehdä kuitenkin joitain oletuksia millainen voisi olla hyväksyttävä kompromissiratkaisu. Preferenssittömiä menetelmiä voidaan käyttää esimerkiksi lähtöpisteen määrittämiseen interaktiivisia menetelmiä käytettäessä. Yksinkertaisin preferenssitön menetelmä on valita haluttu ratkaisu keskeltä Pareto-rintamaa. (Miettinen, 2008, s. 3, 13)

**Taulukko 9** Monikriteeristen päätöksenteko-menetelmien ominaisuudet (Miettinen 2008, s. 22)

	weighing-metodi	e-constraint-metodi	global criterion-metodi	natural compromise-metodi	weighted metrics-metodi	value function-metodi	lexicographic ordering-metodi	goal programming-metodi
Preferenssitön menetelmä			x	x				
A Priori-menetelmä	x	x				x	x	x
A Posteriori-menetelmä	x	x			x			
voi löytää minkä tahansa Pareto-optimaalisen ratkaisun		x			(x)			x
ratkaisu aina Pareto-optimaalinen	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	x	

Miettinen (2008) on tarkastellut monitavoiteoptimointia ja analysoinut erilaisia monikriteerisiä päätöksentekomenetelmiä. Tutkimuksessa on luokiteltu erilaiset monikriteeriset päätöksentekomenetelmät niiden soveltuvuuden mukaan eri kategorioihin (taulukko 9). Tutkimuksessa nousi esille, että monitavoiteoptimointiin on olemassa laaja valikoima erilaisia metodeja, joiden soveltuvuutta monikriteerisiin päätöksentekomenetelmiin ei oltu vielä tutkittu tarpeeksi. Tutkimuksen johtopäätösten perusteella ei ole olemassa yhtä oikeaa tai muita parempaa monikriteeristä päätöksentekomenetelmää. Eri metodeita voidaan yhdistellä ja niitä voidaan kehittää edelleen esimerkiksi geneettisiä algoritmeja hyväksi käyttäen. (Miettinen 2008, s. 22-23.)

## 2.2.2 Resurssien optimointi

Tässä luvussa käsitellään juuri tämän työn kontekstiin soveltuvia tutkimuksia resurssien optimoinnista. Näiden tarkasteltujen tutkimusten perusteella luodaan pohja tässä työssä käytettävälle optimointimallille. Tarkastellut tutkimukset voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan optimoitavan kohteen mukaisesti. Tutkimukset jaotellaan tarvittavan kalustoresurssien optimointiin sekä työn määrän optimointiin. Kiinteistönhoidossa tarvitaan näitä molempia osa-alueita, joten on perusteltua käydä läpi näihin keskittyneitä tutkimuksia ja niissä saavutettuja tuloksia. Näiden tulosten ja mallien pohjalta luodaan tässä työssä käytetylle optimointimallille ja -päättökentekoprosessille teoreettinen pohja.

### 2.2.2.1 Resurssien ja työn määrän optimointi

**Taulukko 10** Resurssien ja työn optimointiin keskittyvät tutkimukset

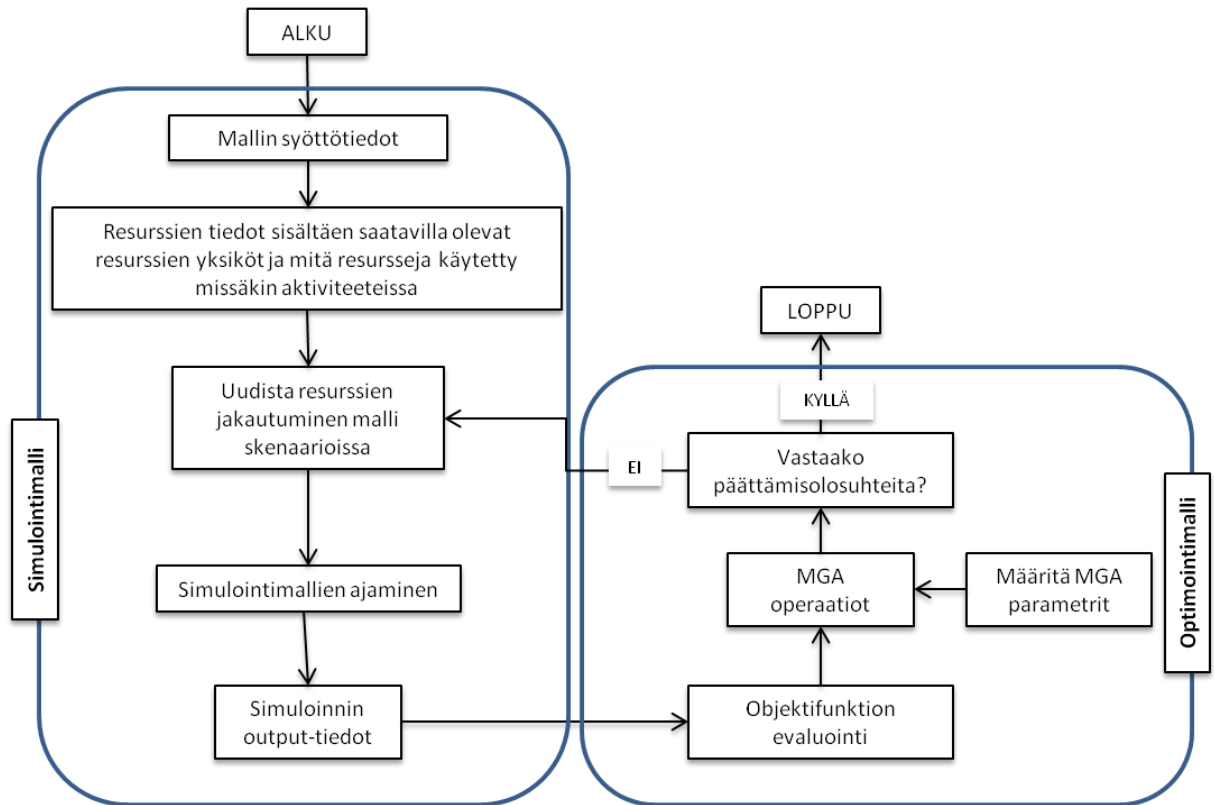
<b>Tekijät</b>	<b>Tavoite</b>	<b>Optimointimenetelmä</b>
<b>Cheng &amp; Yan 2009</b>	Integroida geneettiset algoritmit ja diskreetit simulointitekniikat helpottamaan optimaalisten resurssien käyttöä järjestelmän suorituskyvyn parantamiseen rakennusosalalla	Geneettisiä algoritmeja hyödyntävä optimointimalli
<b>Yang &amp; Chou 2011</b>	Optimoida konsulttiyrityksen työskentely maksimoimalla tulosta, tasapainottamalla työkuormaa, välttämällä ylitöitä ja eliminoimalla joutilaisuutta	Parveilualgoritmia hyödyntävä monitavoiteoptimointi

Resurssien ja työn määrän optimointia tarkastellaan kahden parhaiten tämän työn kontekstiin soveltuvan tutkimuksen avulla (taulukko 10). Cheng & Yanin (2009) tutkimus keskittyy monimutkaisten rakennustöiden resurssien suunnitteluun ja näiden resurssien optimaaliseen käyttöön eri projekteissa. Tutkimuksen tavoitteena on integroida sekaiset geneettiset algoritmit (Messy Genetic Algorithms) ja diskreetit simulointitekniikat helpottamaan optimaalisten resurssien käyttöä järjestelmän suorituskyvyn parantamisessa. Suorituskyvyn parantamisella tarkoitetaan tässä tapauksessa tuotantotason nostamista tai yksikkökustannusten alentamista rakennusosalalla. Yang & Chou (2011) tutkimus käsittelee taas työvoiman optimointia konsulttiyrityksissä. Tämä tutkimuksen perusteella luodaan uusi monitavoiteoptimointimalli, jonka avulla voidaan maksimoida tulosta, tasapainottaa työkuormaa, välttää ylitöitä sekä eliminoida joutilaisuutta.

Cheng & Yanin (2009) tutkimukselle on antanut lähtösäyksen monimutkaisten rakennustöiden sisältämät lukuisat eri muuttujat ja näiden rakennustöiden suunnittelun haasteet. Resurssisuunnittelulla rakennusprojekteissa on vaikutusta rakennustöiden kustannuksiin ja lopputuloksiin. Aikaisemmat tähän kyseiseen resurssien käytön suunnitteluongelmaan tehdyt ohjelmistot ja mallit eivät ole tarjonneet täydellistä ratkaisua näihin suunnittelun ongelmiin. Tutkimuksessa kehitetäänkin uusi malli resurssien kustannusten analysoimiseen sekä tietyssä rakennushankkeessa tarvittavien resurssien tarkkaan määrittämiseen. (Cheng & Yan 2009.)

Tutkimuksessa luodaan optimointimalli, jonka avulla on mahdollista saada rakennustyöt suoritetuksi nykyistä halvemmin ja lyhyemmässä ajassa. Optimointiongelman ratkaisuun

käytetään CYCLONE-ohjelmistoa (CYCLic Operation Network), joka on diskreetteihin simulointi-metodologeihin erikoistunut alusta. CYCLONE on suunniteltu alun perin rakennustöiden suunnitteluun ja analysointiin. Simulointityökaluna käytetään COST (construction operations simulation tool), joka on yhdistetty CYCLONE-ohjelmiston kanssa (kuva 11). Ohjelmiston periaatetta voidaan soveltaa optimointimallin keittämisessä tässä työssä, sillä simulointi- ja optimointiohjelmien väliset suhteet ovat samankaltaiset. (Cheng & Yan 2009.)



**Kuva 11** Optimointi- ja simulointiohjelmien välinen yhteys (Cheng & Yan 2009, s. 403)

Yang & Chou (2011) artikkelissa on mielenkiintoista muuttujien määrä ja yhteismitattomuus. Kehitettävässä optimointimallissa on neljä ristiriitaista optimoitavaa muuttujaa. Kehitetty optimointimalli sisältää joukko-optimointi algoritmin, jonka avulla saadaan esille olemassa olevat ei-dominoivat ratkaisut. Kehitettyä mallia sovelletaan numeeristen case-esimerkkien avulla kuuden eri tiimin viidessätoista projektissa. Näistä esimerkeistä saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että optimointimalli helpottaa päätöksentekijöitä valitsemaan oikean tehtäväsuunnitelman, jonka valitseminen olisi muutoin haastavaa ja aikavievää saavuttaa. Mallin lähtötietona on (1) arvioidut projektiin kuluvat työtunnit, (2) projektin tuotto, (3) projektin tärkeysluokka (1: korkein, 2: keskitaso, 3: alhainen), (4) tiimin tuntihinta, (5) tiimin saatavuus ja (6) tiimin keskimääräinen työaika. Kehitettävää uutta monitavoiteoptimointimallia kutsutaan nimellä MUST (Multiobjective Staff-to-job assignmenT model). MUST kykenee optimoimaan insinööritoimistojen projekteja monien eri tavoitteen osalta. Näitä tavoitteita ovat yleisen tuoton maksimointi, työkuorman minimoointi, työajan minimoointi ja keskimääräisen käyttöasteen maksimointi. MUST liittyy parveilualgoritmin arvioimaan pareto-optimaalisten tulosten "trade offia". Tutkimuksen tuloksista huomataan, että päätöksentekijän tulee valita paras kombinaatio

neljästä ristiriitaisesta vaihtoehdosta, ja että variaatiot voivat olla hyvinkin suuria tulosten välillä (Taulukko 11). (Yang & Chou 2011.)

**Taulukko 11** Optimoinnin tulokset (Yang & Chou 2011, s. 1187)

Tuoton maksimointi (\$)	Työkuorman minimointi (%)	Ylitöiden minimointi (h)	Käyttöasteen maksimointi (%)
242474	20	460	93
<b>242419</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>88</b>
238745	15	35	89
238656	19	510	94
237883	15	170	97
234766	18	180	97
234708	16	50	92
234688	14	45	92
233118	30	310	98
232248	17	115	92
231693	20	233	98
228581	23	285	99
227430	18	150	93
227122	17	165	93
226884	10	45	93
225203	37	820	100
225199	27	320	100
224866	16	0	76
224553	14	35	89

### 2.2.2.2 Kaluston koon ja määrän optimointi

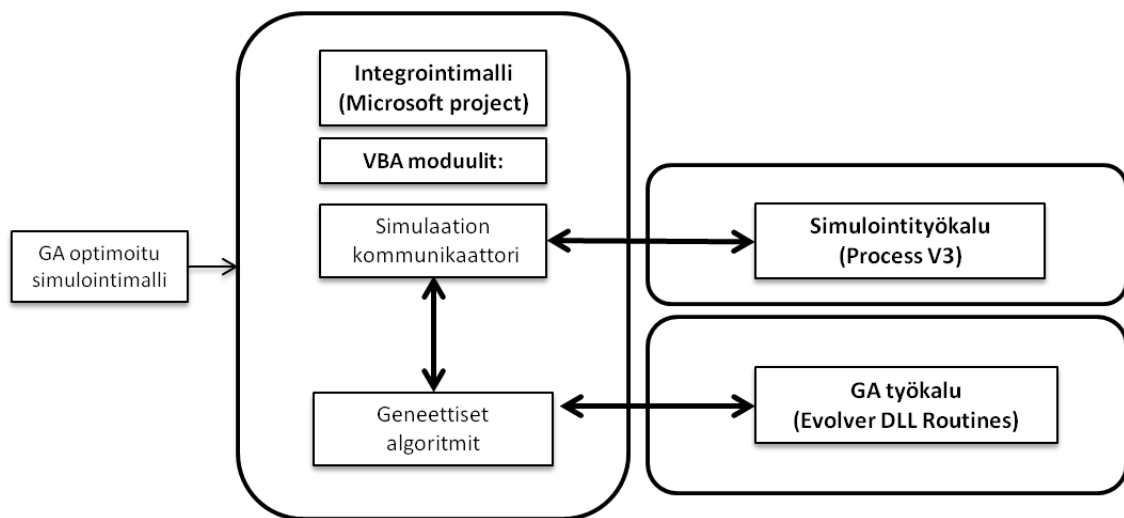
Kaluston koon optimointia tarkastellaan neljän eri tutkimuksen kautta (taulukko 12). Jokaisessa tutkimuksessa optimoitavana kohteena ovat erilaiset kalustoresurssien määrät ja kombinaatiot. Kiinteistönhoidossa kalustoa ovat esimerkiksi lumityökoneet, ruohonleikkurit ja lakaisukoneet. Näin ollen kalustoresurssien ja näiden kombinaatioiden optimointiin keskittyvien tutkimusten läpikäynti antaa hyvän viitekehyksen tässä työssä kehitettävälle optimointimallille. Jokaisesta tutkimuksesta käydään läpi pääperiaatteet sekä tutkimuksessa käytetyn optimointimallin rakenne.

**Taulukko 12** Kaluston koon optimointiin keskittyvät tutkimukset

Tekijät	Tavoite	Optimointimenetelmä
<b>Hegazy &amp; Kassab 2003</b>	Luoda geneettinen optimointimalli, joka määrittää halvimman ja tuottavimman määrän resursseja, jotka saavuttavat korkeimman hyötysuhteen yksittäisessä rakennusalan toimessa	Geneettisiä algoritmeja hyödyntävä optimointimalli
<b>Marzouk &amp; Moselhi 2004</b>	Minimoida maansiirto-operaatioiden aika ja kustannukset	Geneettisiä algoritmeja hyödyntävä monitavoiteoptimointimalli
<b>Perrier ym. 2007</b>	Optimoida talvikunnossapidossa käytettävän kaluston reititys ja kaluston koko	Lineaarinen kokonaislukuoptimointi
<b>Sayarshad &amp; Marler 2010</b>	Optimoida rautatievaunukaluston koko	Monitavoiteoptimointi



Hegazy & Kassab (2003) esittävät oman lähestymistavan resurssien optimointiin yhdistämällä vuokaavio-perusteisen (flow-chart-based) simulointimallin tehokkaaseen geneettiseen optimointimalliin. Esitetty malli määrittää halvimman ja tuottavimman määrän resursseja, jotka saavuttavat korkeimman hyötysuhteen yksittäisessä rakennusalan toimessa. Tuloksena on hierarkkinen työnositus sidottuna geneettisillä algoritmeilla optimoituihin simulointimalleihin. Kehitetyn optimointimallin käytössä hyödynnettiin Process V3-simulointiohjelmaa, kaupallista GA-perusteista työkalua (Evolver) sekä kaupallista aikataulutushjelmaa (Microsoft Project) (kuva 12). Geneettisen algoritmin käytön hyötyjä tutkimuksen simulaatiomalleissa ovat sen ominaisuudet etsiä optimaalinen joukko resursseja, joka optimoi sekä kulut että tuotannon erilaisten rajoitusten vallitessa. Näitä rajoituksia ovat tässä tapauksessa haluttu tuotanto, työolosuhteet ja resurssien saatavuus. Kuten aikaisemmin työn resurssien optimointia käsitelleissä tutkimuksissa, niin tässäkin tapauksessa simulointi- ja optimointi-ohjelmien väliset yhteydet ovat samankaltaisia. (Hegazy & Kassab 2003.)



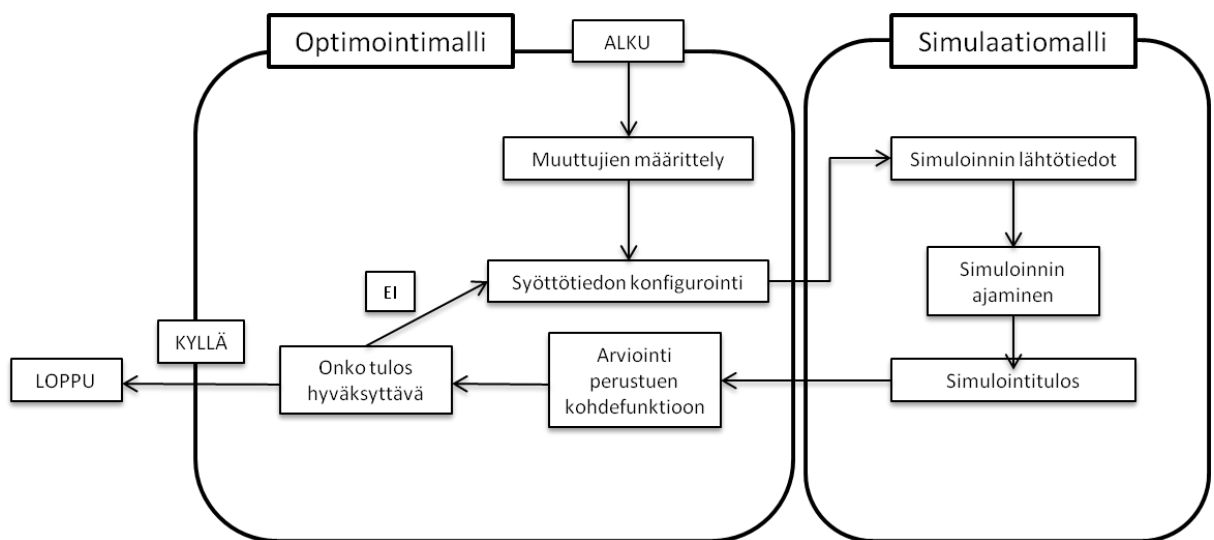
**Kuva 12** Optimointi- ja simulointiohjelmien välinen yhteys (Hegazy & Kassab 2003, s. 701)

Kehitettyä optimointimallia on simuloitu kahdessa eri case-tapauksessa; betonin käsittelyssä ja maansiirrosta Hong Kongin lentokentällä. Taulukosta 13 nähdään maansiirto-operaation eri resurssiyhdistelmien kokonaiskustannukset ja tuotantomäärät, joista voidaan valita optimaalinen kustannus-tuotanto-suhde. Case-tarkasteluista saatujen tulosten perusteella malli soveltuu resurssien optimointiin tosielämän asettamista rajoituksista huolimatta. Malli on lisäksi helppokäyttöinen ja geneerinen, joten se soveltuu myös laajoihin projekteihin. (Hegazy & Kassab 2003.)

**Taulukko 13** Case-tapauksen resurssikombinaatiot (Hegazy & Kassab 2003, s. 702)

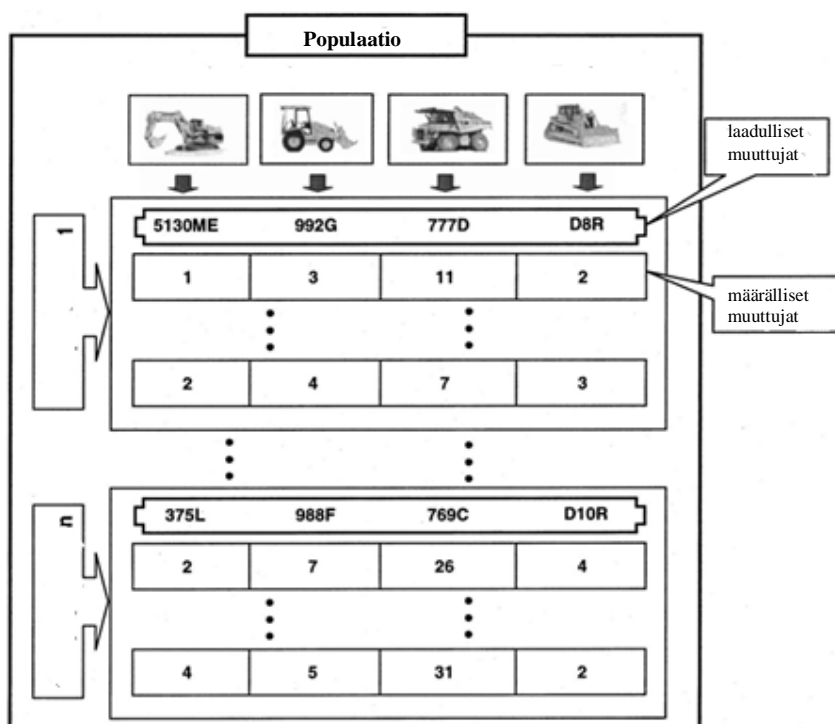
Resurssien määrä						
Koe	Kuorma-auto	Nosturi	Miehistö	Kustannus	Tuotanto	Kustannus per palkki
1.	1	3	1	1400	49	28,57
2.	1	2	1	1080	49	22,04
3.	2	1	3	1400	61	22,95
4.	6	2	4	2580	60	43,00
5.	2	2	1	1320	51	25,88
6.	6	2	3	2380	62	38,39
7.	6	1	3	2060	61	33,77
8.	4	4	4	3040	62	49,03
9.	4	2	1	1800	50	36,00
10.	4	1	2	1680	61	27,54
11.	4	1	1	1480	50	29,60
12.	3	3	4	2480	61	40,66
13.	2	3	4	2240	61	36,72
Optimi	1	1	3	1160	62	18,71

Marzouk & Moselhi (2004) esittävät samansuuntaisen lähestymistavan kaluston optimointiin kuin Hegazy & Kassab. Tässä tutkimuksessa rakennetaan viitekehys maansiirto-operaatioiden optimointiin käyttäen hyväksi simulointimallia ja geneettisiä algoritmeja hyödyntävää monitavoiteoptimointia, jonka rakenne on esitetty kuvassa 13. Marzouk & Moselhin tutkimus tarjoaa työkalun, jonka avulla voidaan määrittää optimaalinen maansiirtokaluston koko tiettyjen rajoitusten puitteissa. Optimoinnin tavoitteena tutkimuksessa on minimoida maansiirto-operaatioiden aika ja kustannukset. Simulointiprosessi hyödyntää diskreettejä simulointeja ja kohdeorientoitunutta mallinnusta. Käytetty malli sisältää sarjan kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia muuttujia, joilla on vaikutusta maansiirto-operaatioiden tuotantoon. Kehitetty viitekehys tukee aika-kustannus ”trade-off” analyyseja ja auttaa mallintamaan oikeankokoisia kalustovaatimuksia. (Marzouk & Moselhi 2004.)



**Kuva 13** Optimointi- ja simulointiohjelmien välinen yhteys (Marzouk & Moselhi 2004, s. 106)

Huomionarvoista on optimointimallin samankaltainen rakenne, kuin muissakin kalustoresurssien optimointia käsittelevissä tutkimuksissa. Simuloinnissa hyödynnetään SimEarth-viitekehystä, joka on suunniteltu maansiirto-operaatioiden suunnitteluun. SimEarth on alun perin kehitetty arvioimaan maansiirto-operaatioiden aikaa ja kustannuksia. Tässä kyseisessä tutkimuksessa hyödynnetään SimEarth-viitekehysten simulointikonetta ja optimointimoduulia. Optimoinnissa hyödynnetään geneettisiä algoritmeja laskemaan optimaalista kaluston kokoa. Geneettisiä operaattoreita tässä tapauksessa ovat valinta (selection), sekoitus (crossover) ja mutaatio (mutation). Kehitetyssä mallissa on sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia muuttujia. Kuvasta 14 nähdään, että kvalitatiivisia muuttujia ovat maansiirto-operaatioissa käytettyjen työkoneiden mallit. Kvantitatiivisia muuttujia taas ovat näiden työkoneiden määrät. (Marzouk & Moselhi 2004, s. 105-106.) Jos verrataan näitä muuttujien ominaisuuksia tämän työn kontekstiin, niin kiinteistönhoidossa kvalitatiivisia muuttujia taas ovat esimerkiksi lumityökoneet ja ruohonleikkurit, joilla on omat yksilölliset ominaisuudet



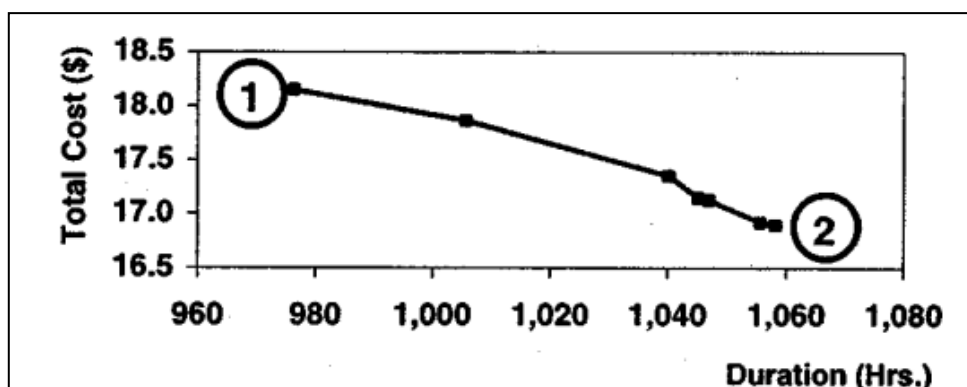
**Kuva 14** Optimoinnin kalustokombinaatiot (Marzouk & Moselhi 2004, s. 109)

Kehitetyssä optimointimallissa on kaksi eri funktiota, joiden avulla voidaan määrittää projektin kesto ja kokonaiskustannuksia. Funktio  $F_1$  määrittelee projektin keston tunteina siirrettävän maan (TQ), päivittäisen tuotannon (D\_Product) sekä suunniteltujen päivittäisten tuntien (DH) avulla. Funktio  $F_2$  taas kertoo projektin kokonaiskustannukset, ja se sisältää myös kustannustiedot ja konetyyppien määrät (taulukko 14). Muuttujien määrään vaikuttaa suoraan optimointiongelman monimutkaisuus. Tässä tapauksessa eri muuttujat ovat lisäksi yhteismitattomia, joka on yleistä monitavoiteoptimoinnissa.

**Taulukko 14** Funktioiden sisältämät muuttujat

DH	suunnitellut työtunnit (h/päivä)
t	käytettyjen konetyyppien määrä
EHC	koneiden tuntihinta (\$/h)
NE	eri konetyypeille kohdennettujen välineiden määrä
TQ	siirretyn maan kokonaismäärä (m <sup>3</sup> )
D_Prod	päivittäinen tuotanto
MD	aikataulutetut työpäivät (pvä/kk)
TR_IC	aika-perusteinen epäsuora kustannus (\$/kk)
TI_IC	ajasta riippumaton epäsuora kustannus (\$)

Artikkelissa esitellään hypoteettinen esimerkki, jonka avulla kehitettyä optimointimallia mallinnetaan. Tässä esimerkissä siirretään 2 500 000 m<sup>3</sup> moreenia 15 km matka säilytysalueelta työmaalle kolmella erilaisella vaihtoehtoisella kalustolla. Kyseinen maansiirto-operaatio sisältää kuusi eri aktiviteettia, joista jokaiselle on määritelty tietty kesto. Aktiviteetteja ovat lastaus, kuljetus, kippaus, paluu, levitys ja tiivistys. Kuvassa 18 on esitetty esimerkistä saadut tulokset pareto-optimaalisena pistejoukkona, jossa tasapainoillaan kustannusten ja ajan suhteen. Päättökentekijä voi tästä pistejoukosta valita mieleisensä aika-kustannus-suhteen, joka tuottaa parhaan lopputuloksen tiettyyn maansiirto-operaatioon. Lyhimmän keston skenaariossa maansiirto-operaation kuluu 977 tuntia ja 18 146 000 dollaria, jota kuvaa piste 1 kuvassa 15. Halvin skenaario taas kestää 1059 tuntia kustannusten ollessa 16 897 700 dollaria, joka on esitetty pisteenä 2 kuvassa 15. (Marzouk & Moselhi 2004, s. 112-113.) Tässä työssä on tarkoituksena saada aikaan vastaavanlainen valintatilanne, jossa päättökentekijällä on mahdollisuus valita eri vaihtoehtoista juuri omien preferenssiensä mukaisesti paras aika/kustannus-suhde.



**Kuva 15** Pareto-vektori ajan ja kustannusten suhteen (Marzouk & Moselhi 2004, s. 112)

Kolmas kalustoresurssien optimointia käsittelevä tutkimus on Perrier ym. (2007) neljän tutkimuksen sarjan viimeinen osa, joka keskittyy talvikunnossapitoon liittyvien mallien ja algoritmien tutkimiseen. Tämä tutkimussarjan neljäs osio käsittelee ajoneuvojen reititystä ja kaluston mitoittamista. Kalustoon luetaan tässä tapauksessa kuorma-autot, aura-autot, lakaisukoneet, suolanlevittäjät, lumilingot ja muut vastaavat talvikunnossapidossa tarvittavat välineet. Tutkimuksessa nousee esille, että tärkeä valinta kaluston koon määrittämisessä on kustannusten ja laadun suhde. Suurempi kaluston määrä puhdistaa tiet nopeammin, mutta samalla kulut nousevat korkeammiksi. Näin ollen kaluston koon

mitoituksessa tavoitteena on löytää tietty tasapaino kustannusten minimoimisen ja laatuvaatimusten täyttämisen suhteen.

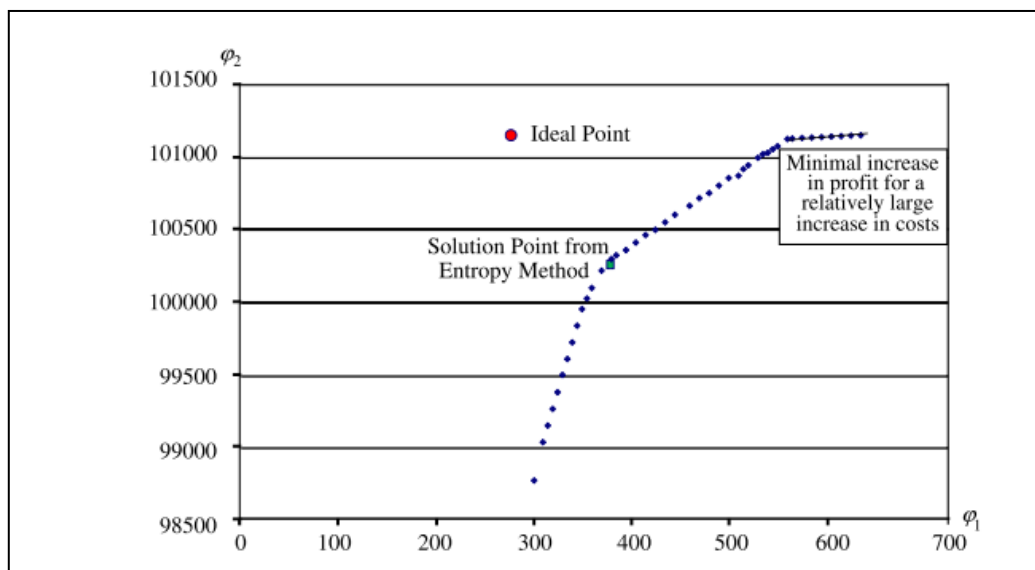
<p>Minimize</p> $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left( b_{ij} \frac{d_{ij}}{s} \right) x_{ij} \quad (4.1)$ <p>subject to</p> $\sum_{i \in I} x_{ij} \geq \frac{p_j l_j r}{s \cdot d} \quad (j \in A), \quad (4.2)$ $\frac{\left( \frac{p_j l_j}{\sum_{i \in I} x_{ij}} \right)}{s} \leq t_j - \left( \frac{d_j}{s} \right) \quad (j \in J \setminus A), \quad (4.3)$ $x_{ij} \geq 0 \text{ and integer} \quad (i \in I, j \in J). \quad (4.4)$	<p>(4.1)</p> <p>(4.2)</p> <p>(4.3)</p> <p>(4.4)</p>
---	---

**Kuva 16** Lineaarinen kokonaislukuoptimointimalli (Perrier ym. 2007, s. 287)

Tutkimuksen aihe ja käsiteltävä optimointiongelma antavat mielenkiintoista taustatietoa myös tämän työn kiinteistönhoidon resurssien optimoinnille, sillä tässäkin tutkimuksessa sääolosuhteet sekä laatu-kustannus-suhde ovat avainroolissa. Lisäksi Kanadan olosuhteet varsinkin talvisin tuovat samanlaisen haasteen kiinteistönhoidon resurssien optimoinnille Suomessa. Optimointiongelmaa käsitellään lineaarisena kokonaisluku ohjelmointiongelmana. (linear integer programming problem). Optimointimallissa (kuva 16) kohdefunktio (4.1) minimoi poistojen ja operointikustannusten summan. Rajoitus (4.2) määrittelee pienimmän mahdollisen aurojen määrän kullekin tieluokalle. Rajoitus (4.3) varmistaa, että jokaiselle alempiluokkaiselle tielle riittää myös kalustoa. (Perrier ym. 2007, s. 285-287.)

Kaluston optimaaliseen koon määrittämiseen keskittyy myös Sayrashad & Marler (2010), jotka selvittävät omassa työssään rautatievaunukaluston mitoittamiseen liittyviä ongelmia ja haasteita. Tutkimuksen mukaan yksi suurimpia haasteita rautatievaunukaluston mitoitukseen on rajallinen ratapihan kapasiteetti. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää matemaattinen malli rautatievaunukaluston optimointiin, jonka avulla rautatieyhtiöt voivat säästää kustannuksissa. Tärkeä huomioonotettava valinta tässä kontekstissa on saavuttaa kustannussäästöjä, mutta samalla ylläpitää vaatimukset ja matkustajamäärän täyttävä kalusto. Tutkimuksen optimointi-ongelma edellyttää monitavoiteoptimoinnin käyttöä, jonka avulla voidaan samanaikaisesti optimoida sekä toiminnan tuottoa että sopimussakkojen suuruutta. Sopimussakkoja syntyy, kun rautatieyhtiö ei kykene täyttämään kysyntää vaan operoi liian pienellä kalustolla. (Sayarshad & Marler 2010.)

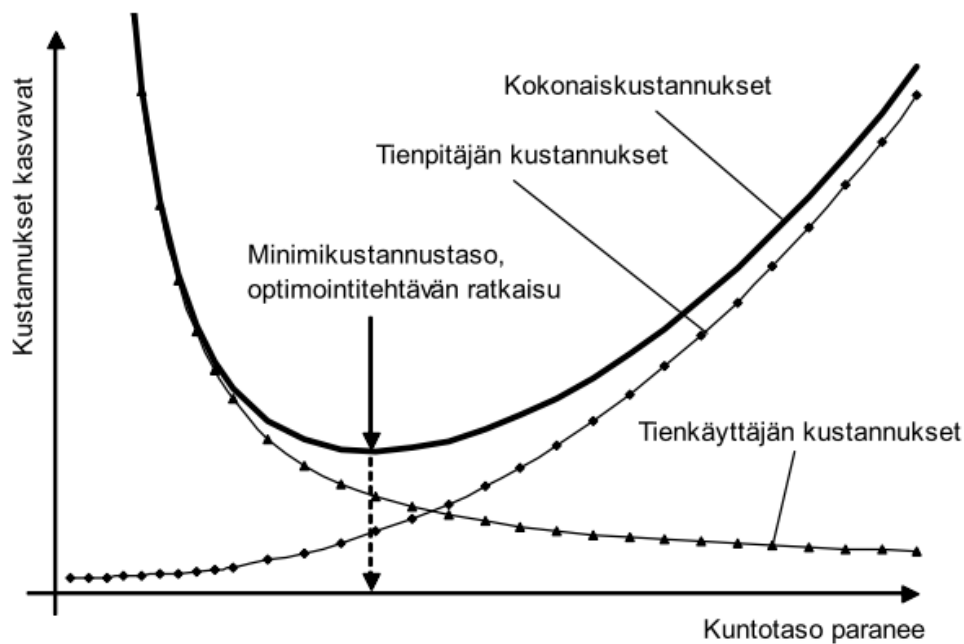
Optimointimallin tavoitteena on maksimoida kahta luonnostaan vastakkaista tavoitetta; mahdollisimman suurta tuottoa sekä korkeaa palvelutasoa. Tämä sama ongelma on havaittavissa myös kiinteistönhoidon puolella. Kumpakaan näistä tavoitteista ei voida saavuttaa samanaikaisesti, vaan tulee tehdä päätöksiä oikean tasapainon löytämiseksi. Tutkimuksessa käytetyssä optimointimallissa on kaksi kohdefunktiota, jotka liittyvät palveluiden laatuun ja tulokseen. Palveluiden laatuun liittyvä kohdefunktio minimoi myöhästyneistä juna-vuoroista aiheutuneita rangaistuskustannuksia, kun taas tuottoon liittyvä kohdefunktio pyrkii maksimoimaan tuloksen. Kuvassa 17 on optimointimallin tuloksena saatu joukko pareto-optimaalisia pisteitä, joista päätöksentekijä voi valita omien preferenssiensä mukaisesti parhaan vaihtoehdon. (Sayarshad & Marler 2010.)



**Kuva 17** Pareto-rintama optimaalisia tuloksia (Sayarshad & Marler 2010, s. 188)

### 2.2.3 Optimointi julkisella sektorilla

Työn fokuksen ollessa Suomen kuntasektorilla, tulee ottaa huomioon tätä aihealuetta käsitelleet optimointiin keskittyneet julkaisut. Optimointia on tutkittu julkisella sektorilla Suomessa Bräysyn (2007) ja Tiehallinnon (2007) toimesta. Kyseisten raporttien tarkoituksena oli tunnistaa ja analysoida mahdollisia optimoinnin kohteita julkisella sektorilla, liittyen tienpitoon, kuljetuksiin ja liikkuviin palveluihin. Tiehallinnon raportissa on tarkasteltu optimoinnin käyttöä päätöksenteon tukena ja erityisesti optimointimenetelmien hyödyntämismahdollisuuksia tiehallinnossa, tienpidon ohjaukseen, suunnitteluun ja hankintaan liittyvissä päätöksentekotilanteissa. Raportissa on lisäksi tunnistettu useita potentiaalisia sovelluskohteita, joiden osalta on arvioitu optimoinnilla mahdollisesti saavutettavia hyötyjä ja optimointimallien toteutukseen liittyviä keskeisiä tekijöitä ja haasteita. Tiehallinnon raportin tiestön verkkotason optimointimallissa kohdefunktiona ovat kokonaiskustannukset ja optimointitehtävän ratkaisu saadaan kohdassa, jossa tienkäyttäjän ja tienpitäjän kustannusten summa saa minimiarvon (kuva 18). (Tiehallinto 2007, s. 5, 12-13; Bräysy 2007, s. 3.)



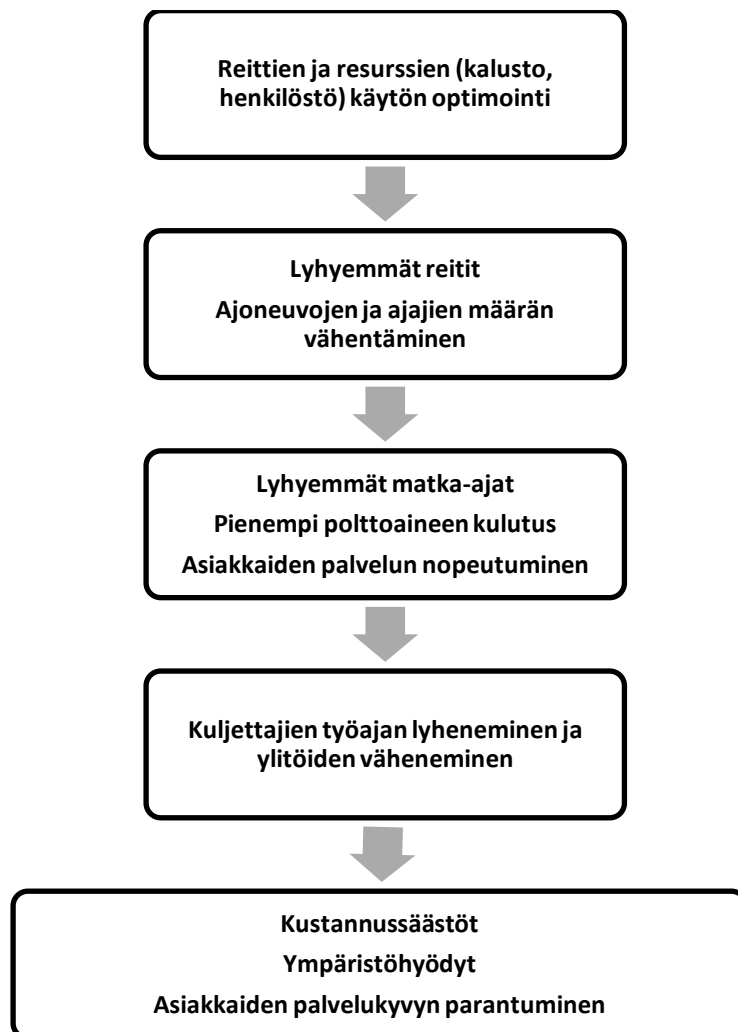
**Kuva 18** Tiehallinnon optimointimallin kuvaaja (Tiehallinto 2007, s. 13)

Bräysyn raportissa taas kehitettiin uusia kuntien tarpeisiin soveltuvia optimointityökaluja ja demonstroititiin optimoinnin potentiaalia erilaisin case-tutkimuksin. Tutkimuksessa nousi esille, että optimointimenetelmien soveltamisen ja tutkimus kunnallisalalla on ollut hyvin vähäistä. Optimoinnilla on kuitenkin paljon mahdollisuuksia, sillä kunnallisalalla on useita erittäin merkittäviä ja mielenkiintoisia sovelluksia, jotka asettavat optimointimenetelmille todellisia haasteita suuren kokonsa, ja useiden eri tekijöiden, tavoitteiden, epävarmuuden ja inhimillisten tekijöiden huomioonottamisen vuoksi. Lisäksi tutkimuksessa käy ilmi, että optimoinnille on tarvetta sillä kuntakentässä meneillään olevat eri palvelujen uudistamisprosessit ja kuntaliitokset lisäävät suunnittelutehtävien kompleksisuutta niin manuaalisen suunnittelun kuin automaattisenkin optimoinnin näkökulmasta. Tutkimuksessa nousi esille, että kunnallisalalla on lukuisia eri sovelluksia, joihin optimointi soveltuisi hyvin. Case-tutkimukset osoittivat joissakin tapauksissa 50–70% säästöpotentiaalia kustannuksissa. Huomioitavaa on kuitenkin se, että optimointimenetelmien tunnettavuus ja soveltaminen kunnallisalalla on kuitenkin vielä erittäin vähäistä. (Bräysy 2007, s. 3.)

Tiehallinnon raportin tavoitteena oli optimoinnin avulla pyrkiä parantamaan päätösten laatua, esimerkiksi saavuttamaan parempi tulos samalla rahamäärällä tai sama tulos pienemmällä rahamäärällä. Optimointimallit tarjoavat tässä tapauksessa systemaattisen ja strukturoidun lähestymistavan ongelmaan ja antavat objektiivisen ratkaisun. Optimoinnin avulla pyritään myös selkeyttämään päätöksiin vaikuttavia tekijöitä ja päätösten läpinäkyvyyttä. Raportissa käsitellään ongelmaa monitavoiteoptimoinnin näkökulmasta. Monitavoiteoptimointi soveltuu raportin mukaan tienpitoon, sillä sitä on käytetty aikaisemmin Tiehallinnossa päällysteiden kunnossapito-ohjelman valinnassa ja siltojen korjausohjelman valinnassa. Näissä tapauksissa kohteiden valinta on mallinnettu monitavoiteongelmana, jonka ratkaisussa on käytetty Teknillisen korkeakoulun kehittämään Robust Portfolio Management-työkalua. Työkalun avulla muodostettava kohdefunktio esitetään korjausohjelmalle asetettujen tavoitteiden painotettuna summana,

jolloin ongelma on lineaarinen kokonaislukuoptimointitehtävä. Päättösmuuttujia ovat tässä tapauksessa toteutettavat hankkeet ja rajoitusehtona kokonaisbudjetti. (Tiehallinto 2007, s. 28, 43)

Bräysyn mukaan monissa sovelluksissa mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja on niin paljon, että niiden kaikkien läpikäynti ja siten optimaalisen ratkaisun löytäminen on mahdotonta. Näin ollen on turvauduttava ns. heuristisiin optimointimenetelmiin, jotka erilaisilla älykkäillä säännöillä pyrkivät rajaamaan tarkasteltavien ratkaisujen määrää ja siten löytämään lähellä optimia olevan ratkaisun mahdollisimman nopeasti. On kuitenkin huomioitava, että Bräysyn mukaan heurististen algoritmien kehittäminen todella suuria ja monimutkaisia käytännön ongelmia varten on erittäin haastava ja vaikea tutkimusaihe. Tutkimuksessa nousi lisäksi esille, että optimoimalla resurssien käyttöä ja ajettuja reittejä kuljetussektorilla, optimointiohjelmit mahdollistavat monentyyppisiä hyötyjä ja säästöjä (kuva 19). Kuntien kannalta merkittävin hyöty on kustannussäästöt. Saavutetuista kustannussäästöistä on olemassa lukemattomia raportteja, selvityksiä ja tieteellisiä tutkimuksia, joissa prosentuaalisesti raportoidut kustannussäästöt vaihtelevat yleensä 5 % – 60 % välillä. (Bräysy 2007, s. 6-7,10.)



**Kuva 19** Optimoinnilla saavutettavat hyödyt (Bräysy, 2007)



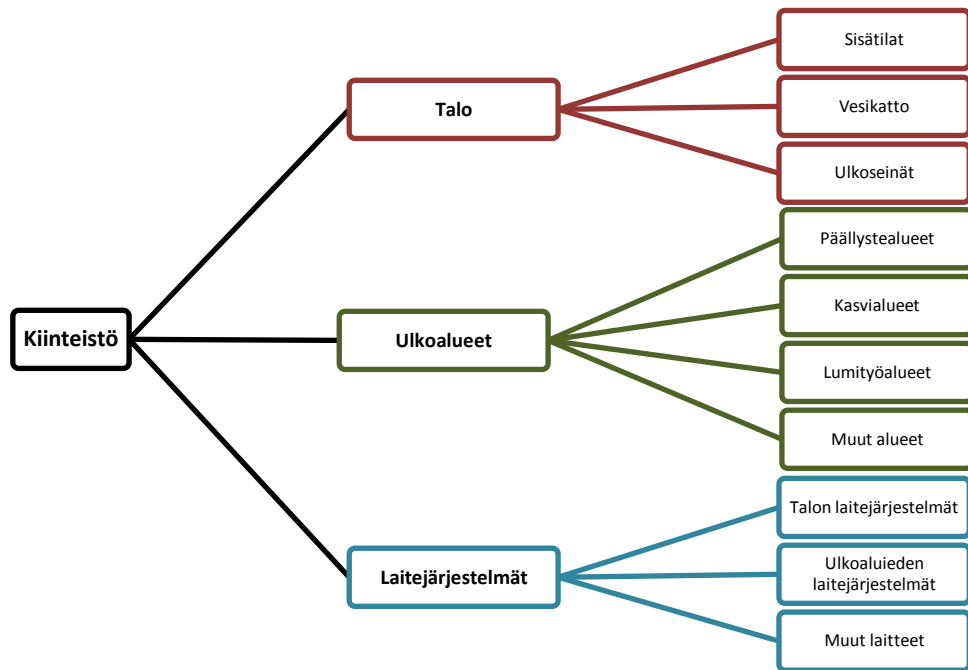
Bräysy käsittelee tutkimuksessaan myös katujen kunnossapidon optimointia. Katujen kunnossapito voidaan jakaa kesä- ja talvikunnossapitoon. Tutkimuksen päähuomio keskittyi talvikunnossapitoon, joka koostuu lumenaurauksesta, lumen poiskuljettamisesta ja erilaisten materiaalien levittämisestä (hiekkä, suola, ja erilaiset kemikaalit) teille. Talvikunnossapidon tekee optimoinnin kannalta haasteelliseksi sen dynaamisuus, koska tehtäviä vaikea ennakoida. Lisäksi lukuiset erityyppiset tehtävät ja huomioonotettavat asiat asettavat omat haasteensa talvikunnossapidolle. Talvikunnossapidon suunnittelun tekee erityisen haasteelliseksi myös se, että siinä pitää ottaa huomioon mm. teiden prioriteettiluokat, lämpötila, lumen määrä ja tyyppi, työaikasäännökset ja erilaiset vaihtoehtoiset lastaus- ja purkupaikat esim. suolalle ja hiekalle ja lumelle, sekä tauko- ja huoltovarikot, ajoneuvojen erilaiset ominaisuudet ja varusteet ja kääntymisten välttäminen sekä useilla ajoneuvoilla yhtä aikaa suoritettavat operaatiot. Yhdessä nämä tekijät muodostavat erittäin monimutkaisen optimointitehtävän. Tutkimuksessa nousee esiin, että potentiaalisia optimoinnin kohteita ovat mm. urakka-alueiden suunnittelu, optimaalisen kaluston määrän ja tyyppin määrittäminen, reittien ja aikataulujen määrittäminen kalustolle sekä suola ja suolasiilojen, huoltovarikoiden ja lumenkaatopaikkojen sijainnin ja koon optimointi. (Bräysy 2007, s. 14-15.)

Sekä Tiehallinnon että Bräysin tutkimukset luovat kokonaisuudessaan hyvän pohjan tämän työn optimointiosuudelle ja lopullisen optimointimallin kehittämiseksi. Erityisesti Bräysin tutkimuksessa tulee hyvin esille kunnossapidon optimoinnin haasteet, jotka johtuvat pääsääntöisesti monien vaikuttavien osa-alueiden ennakoimattomuudesta sekä arvaamattomuudesta. Vaikeimmin määriteltävä epävarmuustekijä on sääolosuhteet ja niiden vaihtelu. Päätarkoituksena optimoinnin käytössä julkisella sektorilla on yksinkertaisesti kustannussäästöjen hakeminen uusien toimintatapojen ja työkalujen avulla. Tämän työn yhtenä avaintavoitteena onkin löytää juuri optimoinnin avulla uusia toimintatapoja kuntien kiinteistönhoidon järjestämiseen resurssien optimoinnin kautta.

## **2.3 Kiinteistöhoito**

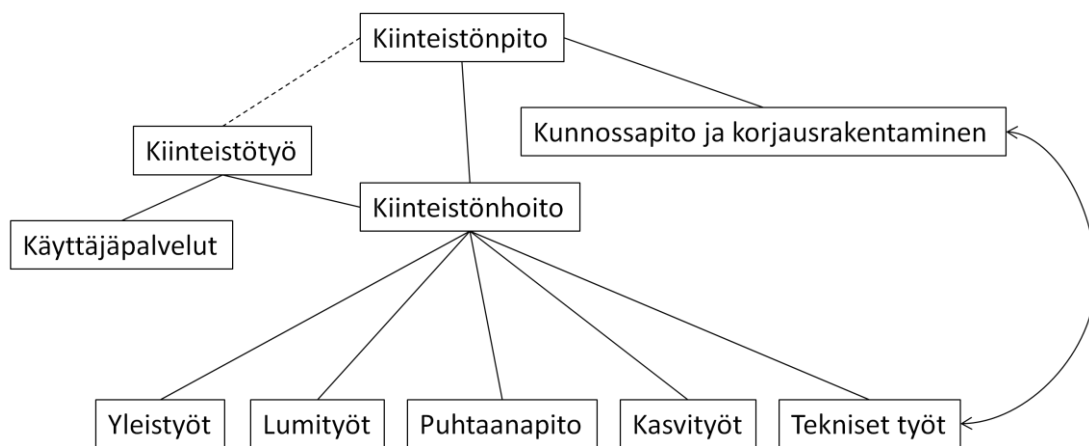
### **2.3.1 Kiinteistönhoidon periaatteet**

Tässä kappaleessa luodaan läpileikkaus kiinteistöhoitoon sekä sen erityispiirteisiin ja kiinteistönhoidon mitoittamiseen. Lisäksi tarkastellaan nykyisten kiinteistönhoidon mitoitusmenetelmien taustoja sekä luodaan yleiskatsaus kiinteistönhoidon mitoitukseen ja sen nykytilaan. Kiinteistöhoito keskittyy kiinteistön ja siihen sisältyvien laitteiden ja järjestelmien hoitoon. Itse kiinteistöllä tarkoitetaan yleisesti rajattua maanpinnan osaa sillä olevine rakennuksineen, kiinteine rakenteineen ja laitteineen. Kiinteistötyön kohteena ovat ulkoalueet, laitejärjestelmät ja rakennus itsessään (kuva 20). Kiinteistöhoitaja toimii monien muutostapahtumien keskellä; säätilat vaihtelevat, laitteet ja rakenteet kuluvat, pensaat ja nurmikko kasvavat jatkuvasti ja asuttu ympäristö roskaantuu. Kiinteistötyössä pyritään vastustamaan luonnonmukaista muutosta tai rappeutumista. Tämä vaatii jatkuvaa tiheään tai harvaan toistuvaa toimintaa, jossa tavoitteet säilyvät mutta työt vaihtuvat tilanteen mukaan. (Voijola 1994a, s. 1.)



**Kuva 20** Kiinteistötyön kohteiden pääjaottelu (Voijola 1994a, s. 1)

Kiinteistönhoito voidaan kuvata usealla toiminnan tasolla tapahtuvaksi prosessiksi, johon sisältyvät toiminnanjohto, työnjärjestelyt ja työn suoritus. Kiinteistötyö on suurelta osin toistuvaa ylläpitoluonteista toimintaa. Kiinteistötyö voidaan jakaa käyttäjäpalveluihin ja kiinteistönhoitoon. Kiinteistönhoitoon kuuluvat yleistehtävät, tekniset työt, puhtaanapito, kasvityöt ja lumityöt (kuva 21). Kiinteistönhoito on osa kiinteistön ylläpitoa kun taas käyttäjäpalvelut kohdistuvat ensisijaisesti tilojen käyttäjiin. (Voijola 1994a , s. 2.)



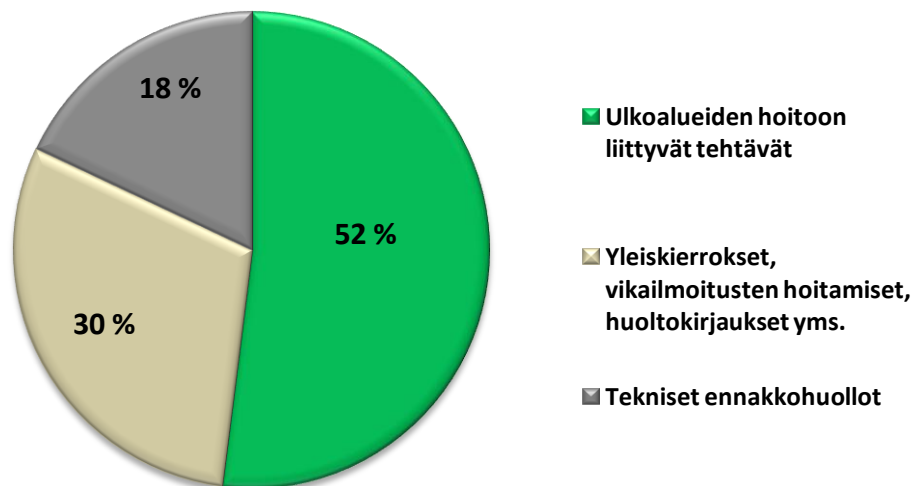
**Kuva 21** Kiinteistötyön rakenne (Voijola 1994a, s. 2)

Oleellinen piirre kiinteistötyössä on töiden pienimuotoisuus ja toimenpiteiden tiheä toistuvuus verrattuna esimerkiksi kunnossapitotehtävin. Kiinteistötyötä voidaan Voijolan (1994a) mukaan verrata säätöprosessiin ja sovitun olotilan ylläpitämiseksi silloin, kun sisäiset tai ulkoiset kuormitukset muuttuvat (lämpötila, lumisade, vesisade ym.). Merkille pantavaa kiinteistötyössä on se, että toiminnan seuraukset ovat yleensä välittömästi tekijänsä havaittavissa. Lisäksi toimintaa ohjaa työkohteista tai käyttäjältä saatava palaute. Kiinteistönhoitaja suunnittelee ja muuttaa toimintaansa annettujen tavoitteiden ja saatujen

palautteiden perusteella päästääkseen laadukkaampaan ja taloudellisempaan tulokseen. (Voijola 1994a, s. 3)

Tarvittavan henkilömäärän arviointia suoritustunteina lasketun vuotuisen työmäärän perusteella kutsutaan mitoittamiseksi. Kiinteistöhoiton mitoittamisen tehtävänä on löytää erilaisiin kiinteistöihin tehokkaat ja taloudelliset menetelmät, joilla kohteen kiinteistöhoiton laatu- ja tarvevaatimukset saadaan oikealle tasolle. Oikein mitoitetun ja suunnitellun kiinteistöhoiton avulla on mahdollista säästää kiinteistön vuotuisissa hoitokuluissa, pidentää kiinteistön ikää sekä tehostaa kiinteistöhoiton ajankäyttöä. Kiinteistöhoiton epäpätevä mitoitus voi aiheuttaa helposti resurssien ali- tai ylimitoittamisen. Alimitoittaminen johtaa siihen, että kunnalla ei ole tarpeeksi kiinteistöhoitajia ja tästä johtuen palvelutaso kärsii. Ylimitoittaminen voi vastaavasti johtaa tarpeettoman suuriin menoihin. (Kangasluoma 2013, s. 85-86; Voijola 1999.)

Kiinteistöhoito-organisaation päivittäinen kapasiteetti vaihtelee loma-aikojen ja sairaspäivien mukaan ja tarvittava työmäärä tuotteiden/vuodenaikojen asettamien vaatimusten mukaan. Organisaation tehtävänä on sopeuttaa kapasiteettinsa tarvittavaan työmäärään. Kausittaisen käytettävissä olevan henkilö/konekapasiteetin ja työmäärän erotuksesta käytetään nimitystä vapaa kapasiteetti. Työntekijän kapasiteettia koskevat samat ongelmat kuin koneiden käyttöäkin. Tuotekuvausten perusteella toimivat työntekijät ovat sitoutuneita huolehtimaan siitä, että pysytään koko sillä hetkellä työn kohteena olevan tuotevalikoiman laaturajojen sisällä. Vaikka lasketussa kauden työmäärässä esiintyisikin väljyyttä, niin kiireisten, aikaa vievien töiden lisääminen ohjelmaan saattaa sekoittaa koko sen hetkisen tuotanto-ohjelman ja aikataulun. Kevätsiivouksen yhteydessä ja lumipyryn jälkeen on aluehuolto-yhtiön kapasiteetin tarve korkeimmillaan, kun taas lomakauden aikana henkilökapasiteetti on alimmillaan. Käytettävissä olevan henkilökapasiteetin laskennassa on otettava huomioon lisäksi sairauspoissaolot ja vastaavat ennalta arvaamattomat tapahtumat. (Voijola 1994, s. 42.)



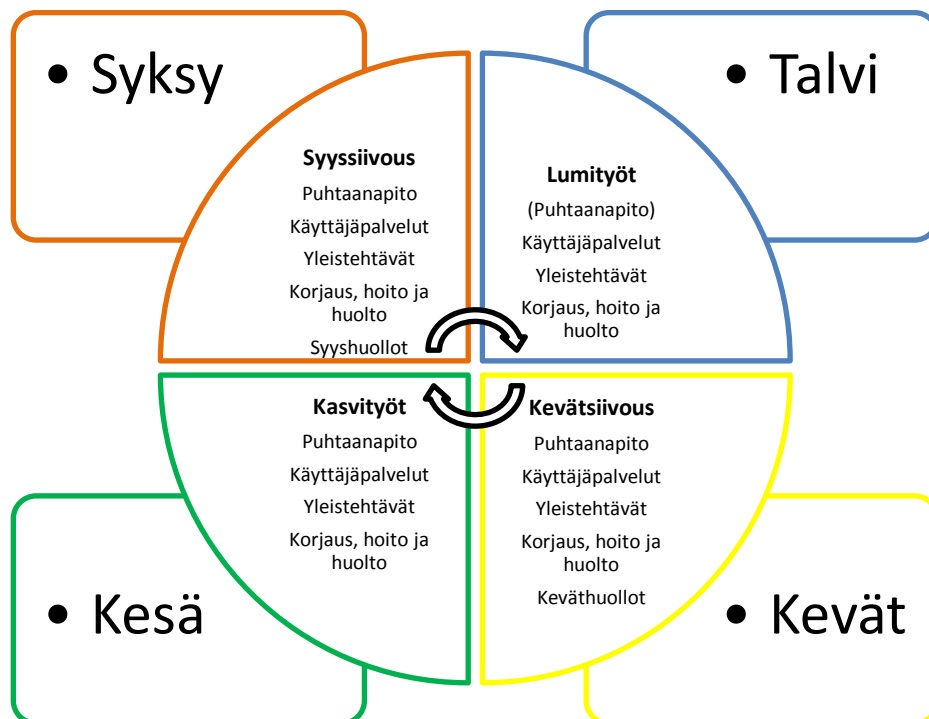
**Kuva 22** Kiinteistöhoiton työajan jakautuminen (Kangasluoma 2013, s. 98)

Kiinteistönhoitajan ajasta menee suurin osa (52 %) ulkoalueiden hoitoon liittyvien tehtävien hoitamiseen (kuva 22). Kiinteistönhoidossa ulkotöihin luetaan ulkoalueiden puhtaanapito roskaantuvissa kohteissa, kasvityöt hoidettavilla kasvialueilla, päällysteiden paikkaukset sekä lumityöt kulkuväylillä ja katoilla. Kiinteistönhoitajan ajasta vajaa kolmasosa (30 %) kuluu yleiskierroksissa, vikailmoitusten hoitamisissa ja huoltokirjauksia tehdessä. Nämä tehtävät ovat eräänlaista tukitoimintaa, joka ei suoranaisesti liity kiinteistön konkreettiseen hoitoon, mutta on silti tärkeä osa kiinteistönhoitajan työnkuvaa. Tämän työajan osuus saattaa vaihdella huomattavasti vuoden aikana, riippuen yllättävistä korjauksista ja palvelupyynnöistä. Tekniset työt ja ennakkohuollot vievät kiinteistönhoitajan kokonaistyöajasta loput (18 %). Teknisiin töihin kuuluvat teknisten laitteiden toiminnan välitarkastukset, kohteiden toiminnan varmistaminen seuraavaan huoltoon asti, toiminnan palauttaminen normaaliksi vian jälkeen sekä teknisten laitteiden täyshuollot. (Kangasluoma 2013, s. 98; Voijola 1994a, p. 1; Voijola 1994c, s. 1-2.)

## 2.3.2 Kiinteistönhoidon mitoittamiseen vaikuttavat tekijät

### 2.3.2.1 Vuodenajat ja töiden kausisidonnaisuus

Kiinteistönhoidon mitoittamiseen vaikuttavista tekijöistä merkittävimpiä ovat vuodenaikojen vaihtelut sekä töiden kausisidonnaisuus. Kiinteistönhoidolle ominaista on tehtävien jakautuminen eri vuodenajoille. Tämä luo haasteita koko vuoden työmäärän ennustamiselle, sillä etukäteen ei voida tietää esimerkiksi seuraavan talven lumisademääriä. Vuodenajan mukaan toistuvia töitä ovat kasvityöt, lumityöt, kevät- ja syyskiivoukset ja osittain myös ylläpitosiivous (kuva 23). Yleistöiden, käyttäjäpalveluiden ja sisäpuolisten huolto- ja korjaustöiden työkauden pituus on kiinteistöstä riippuen yleensä vuosi. Puhtaanapidon työkausi on myös koko vuosi, mutta talvikautena työ määrä yleensä supistuu, poikkeuksena esimerkiksi koulut. (Voijola 1994c, s. 16.)



Kuva 23 Kiinteistötöiden vuosiakataulu

Kasvukaudeksi lasketaan aika, jolloin vuorokautinen keskilämpötila on keväällä vähintään +7 ja syksyllä +5. Kasvukauden kiinteistönhoidolliset tehtävät on esitetty taulukossa 15. Merkittävimmät kasvutekijät ovat valo, lämpö ja sademäärä. Pitkien poutakausien vaikutus näkyy nurmikon leikkauskertoja vähentävänä, mutta kastelukertoja lisäävänä tekijänä. Kasvitöiden työkausien pituudet voidaan laskea termisen kasvukauden perusteella. Etelä-Suomessa termisen kasvukauden pituus on jopa yli 10 viikkoa pidempi kuin vastaava Pohjois-Suomessa. Näin ollen varsinkin kasvitöiden työkertojen määrä pohjoisessa voi olla lähes puolta pienempi kuin muualla Suomessa mikäli kohteet olisivat samantasoisia. Sipoon eteläisestä sijainnista johtuen kasvitöiden määriin tulee kiinnittää kiinteistönhoidon mitoituksessa erityistä huomiota. (Voijola 1994c, s. 17.)

**Taulukko 15** Vihertöiden työkausi ja työkerrat (Voijola 1994c, s. 17)

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Puiden ja pensaiden leikkaus												
Kevätsiivous												
Nurmen kylvö												
Lannoitteen levitys												
Uusien istutusten kastelu												
Nurmikon leikkaus												
Kukkaryhmien hoito												
Syysiivous												

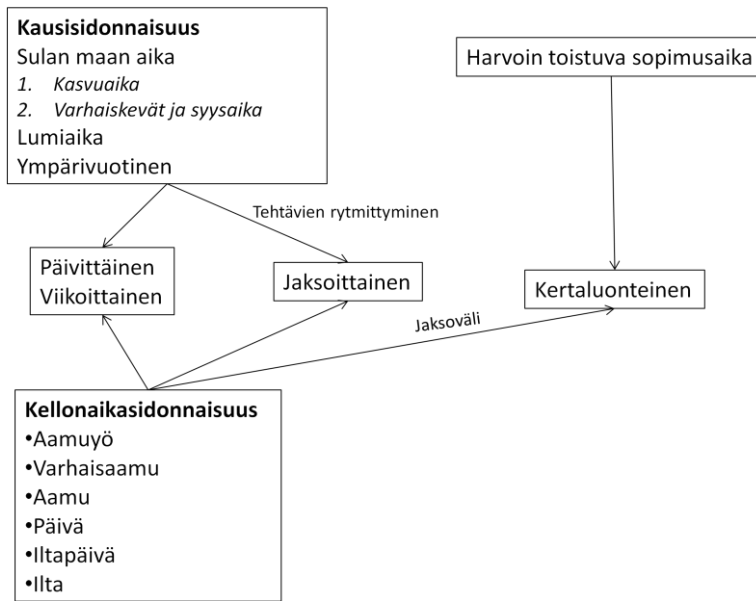
Puhtaanapitotyöt kohdistuvat sekä kasvi- että päällystealueisiin. Puhtaanapito koostuu kevät- ja syysiiivouksesta sekä näiden välisenä aikana tapahtuvasta ylläpitosiivouksesta. Kevät- ja syysiiivoukset ovat luonteeltaan ”suursiivousta”, joka tehdään 1- 2 kertaa vuodessa. Työmäärään vaikuttavat muun muassa alueella sijaitsevat esteet, roskaavien puiden ja pensaiden määrä sekä kohteen sijainti. Ylläpitosiivouksen työmäärään vaikuttavat oleellisin kohteen käyttäjien aiheuttaman roskaantumisen määrä, haluttu laatutaso sekä kohteen maantieteellisestä sijainnista johtuva ”roska-kauden” pituus. Taulukossa 16 on kuvattu puhtaanapidon ja päällystealueiden aikataulu. Vuoden pahin työruuhka on huhti-toukokuussa, jolloin roskat ja hiekat on saatava nopeasti pois, jotta alueet talven jäljiltä näyttäisivät siistiltä. (Voijola 1994c, s. 18.)

**Taulukko 16** Puhtaanapidon työkausi ja työkerrat (Voijola 1994c, s. 18)

	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Hiekoitushiekan poisto												
Kevätsiivous												
Ylläpitosiivous												
Päällystealueiden pesu												
Syysiivous												
Päällysteiden paikkaukset												

Päivittäin, viikoittain, kuukausittain tai harvemmin toistuvaksi suunnitellut työt kohteessa voivat olla kokovuotisia tai kausittaisin/jaksoittain toistuvia. Jaksoittain toistuvia ovat työt kuten mm. kasvi- ja lumityöt (kuva 24). Esimerkiksi kasvukaudella leikataan nurmikko tarpeen mukaan toistaen, kunnes kasvukausi päättyy. Seuraavalla kasvukaudella alkaa taas uusi työkausi. Silloin kun töitä aletaan toteuttaa, ryhmittyvät työt työrytmiin mukaan. Siten esimerkiksi päivittäin tehtäväksi suunniteltujen töiden työrytmiin soveltuvat myös viikoittain toteutettaviksi suunniteltuja töitä. Päivittäinen yleiskierros voi sisältää myös

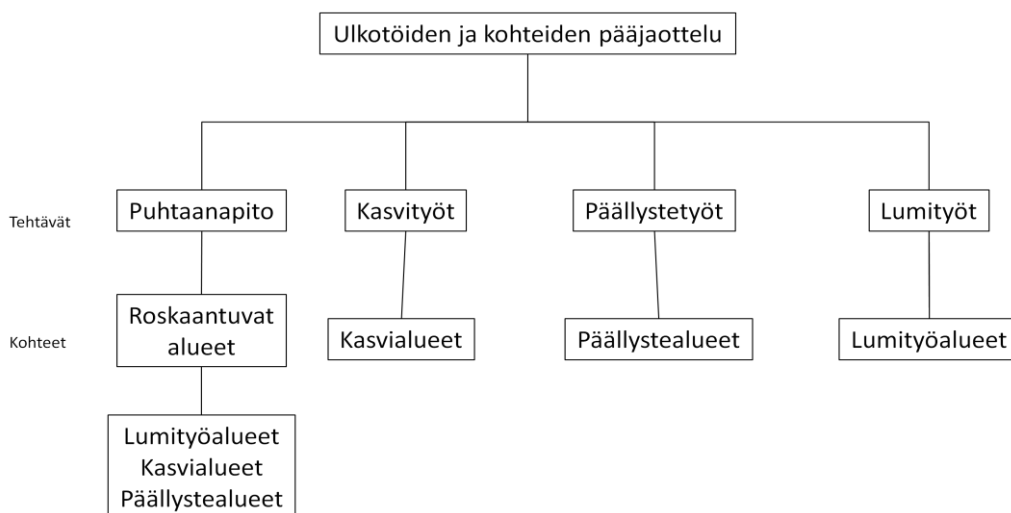
viikoittaisen työn, mikäli se voidaan tehdä yleiskierroksen tapaan ilman erityisiä välineitä eikä hidasta liikaa työkierrosta. (Voijola 1994c, s. 17.)



**Kuva 24** Esimerkki aikasidonnaisten töiden rytmittämisestä (Voijola 1994c, s. 17)

### 2.3.2.2 Ulkotyöalueiden vaikutus

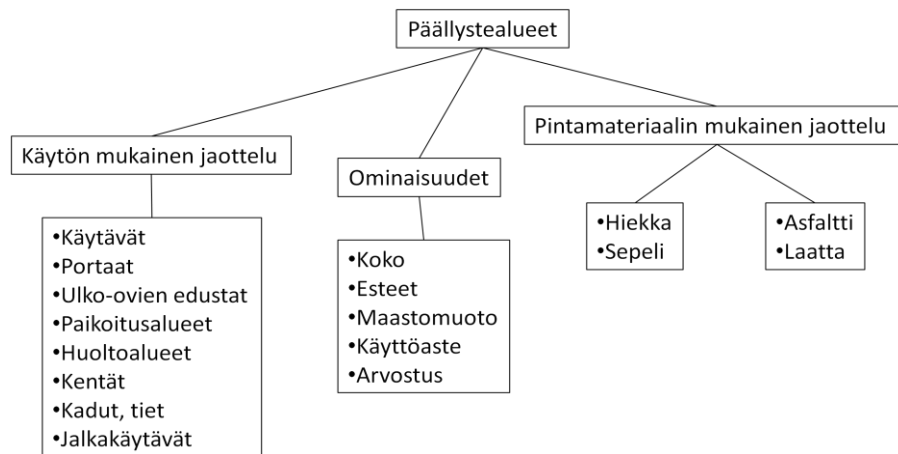
Ulkoalueiden hoitoon liittyvät työt muodostavat 52 % kiinteistönhoitajan työajasta, joten niillä on suuri merkitys kokonaisuuden kannalta (Kangasluoma 2013, s. 98). Kiinteistöhoito-organisaation ulkotöihin luetaan ulkoalueiden puhtaanapito kaikissa roskaantuvissa kohteissa, kasvityöt hoidettavilla kasvialueilla, päällysteiden paikkaukset sekä lumityöt katoilla ja kulkualueilla (kuva 25). Näiden töiden tuloksena on joko konkreettinen laadun muutos tai palveluluonteinen, kuvattavissa oleva suorite. Ulkotöiden tuloksena on kertaluonteisia, kausiluonteisia tai kokovuotisia tuotteita ja suoritteita. (Voijola 1994c, s. 1.)



**Kuva 25** Ulkotöiden kohteet ja ominaisuudet (Voijola 1994c, s. 1)

Työkohteessa tarvittavan työmäärän arvioiminen edellyttää ensin asianomaisen kohteen ominaisuuksien ja työn laadulle asetettavien tavoitteiden selvittämistä. Tuloksellisen toiminnan lähtökohtana on ensinnäkin se, että työn kohde on ”terve”. Esimerkiksi on turha tuhata työpanosta nurmikkoon, jonka kasvupohja olisi ensin uusittava. Samoin päällystealueita on vaikea pitää kunnossa, ellei niiden perustöitä ole alun perin tehty huolella. Kiinteistönhoito-organisaation mahdollisuudet saada aikaan käyttäjien haluamaa tulosta riippuvat siten toisaalta siitä, miten hyvin rakennusaikaiset suunnittelijat ja urakoitsijat ovat tehneet työnsä sekä toisaalta siitä, miten paljon alueen käyttö ja luonnonolosuhteet vaikuttavat tuloksen saavuttamiseen. (Vojola 1994c, s. 1.)

Kasvialueet on kuvattu niiden käytön, kasvillisuuden ja töiden suunnitteluun vaikuttavien muiden ominaisuuksien perusteella. Näitä muita ominaisuuksia ovat muun muassa työtä vaikeuttavat esteet. Esimerkiksi pensaat ja istutukset hidastavat monesti nurmikon leikkuuta. Ajettava kone ei mahdu joka paikkaan, vaan työtä on täydennettävä työnnettävällä koneella tai nauhaleikkurilla. (Vojola 1994c, s. 3.)



**Kuva 26** Päällystealueiden luokitteluperusteet (Vojola 1994c, s. 6)

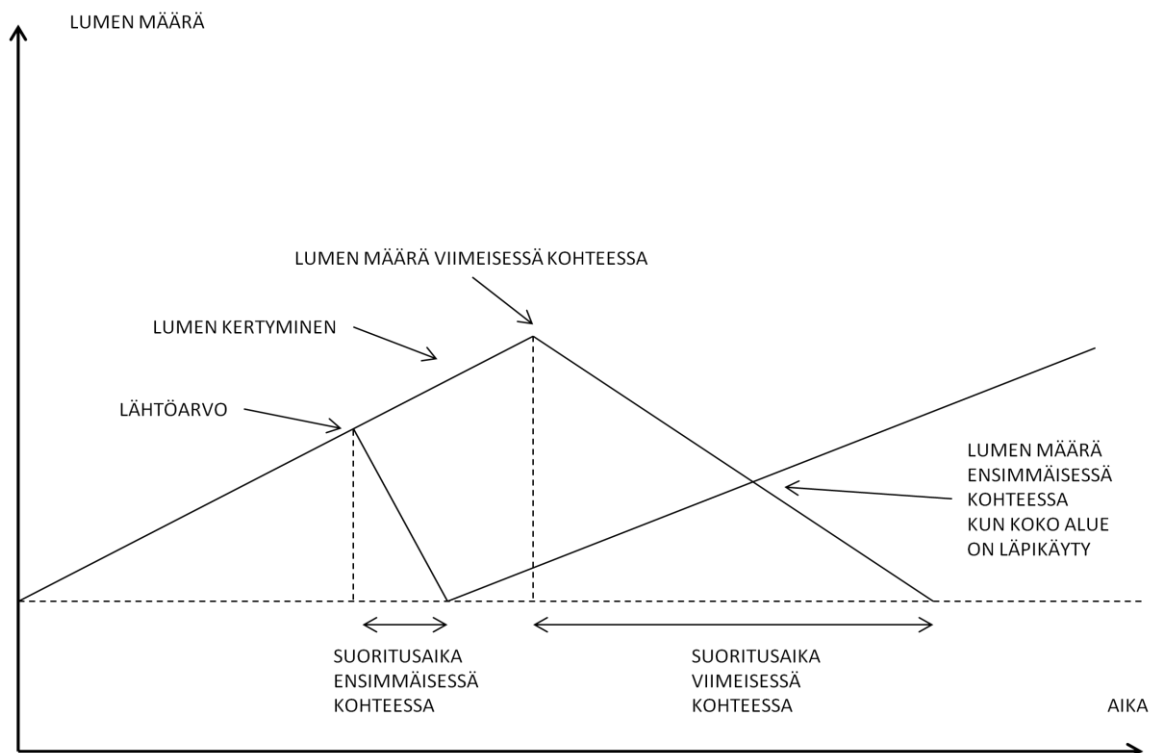
Kiinteistön päällystealueet voidaan jaotella niiden käytön, pintamateriaalin ja ominaisuuksien perusteella (kuva 26). Päällystealueiden laatuominaisuuksia kiintopäällystealueilla sekä sora- ja sepelipäällysteillä voidaan määrittellä muun muassa erilaisilla pinnan muotoja ja ominaisuuksia kuvaavilla mittareilla. (Vojola 1994c, s. 6.)

Lumityöalueet noudattavat osittain samoja rajoja kuin päällystealueet. Lumitöiden suoritusjärjestyksen perusteella alueet joudutaan kuitenkin jaottelemaan myös useaan kiireellisyysluokkaan. Lumityöt ja niiden kokonaismäärä määrittävät hyvin pitkälti kiinteistönhoidon kokonaismitoitusta. Näin ollen lumitöiden tarkempi tarkastelu ja periaatteet tulee olla hyvin selvitettyinä ennen lopullista mitoitusta. Konelumityöalueilla tarkoitetaan kiinteistöillä niitä piha-alueita, jotka vaativat talvikunnossapitoa eli auraamista ja liukkaudentorjuntaa, mutta joita ei kuitenkaan voida järkevästi hoitaa käsitöinä. Käsi- ja konelumitöiden välistä raja-alueita ei ole tarkasti määritelty, sillä se on käytännössä jokaisen kiinteistön piha-alueella yksilöllinen. Rajana voidaan pitää esimerkiksi kiinteistöjen sisääntulojen edustoja, ulkoportaita ja ahtaita kulkuväyliä tai muita vaikeapääsyisiä paikkoja, joihin ei työkoneella pääse. (Vojola 1994c, s. 11-12.)

Kiinteistöjen talvihoidon tehtäväkuvaukset perustuvat Rakennustietosäätiön laatimiin kiinteistöpalveluiden yleisiin laatuvaatimuksiin. Sipoon kunnan kiinteistöjen talvihoito

toteutetaan pääosin hoitoluokan A2 mukaisesti, mikä onkin yleisesti käytetty hoitoluokka kuntien kiinteistöjen hoidossa. Talvihoidon tehtäväkuvaukset pitävät sisällään aurauksen, liukkaudentorjunnan, sohjon ja hiekoitushiekan poiston sekä lumen lähisiirtojen ja kuljetusten laatuvaatimukset, työselitykset, suoritettavan työn ajankohdan sekä työn määrän mittayksikön. (RTS 2009.)

Aurauksissa hoitoluokan A2 mukainen hyväksyttävä kuivan lumen määrä piha-alueilla on 5 cm. Kyseisen rajan ylittyessä töihin on ryhdyttävä mahdollisimman pian, mutta usein käytännössä isoilla urakka-alueilla ja runsaan lumisateen aikana jo aiemmin. Kuvassa 27 on näytetty jatkuvan pyryn tilanne useita kiinteistöjä käsittävällä lumityöalueella. Kun pyry on voimakas ja kohteita on paljon, on työt aloitettava niin että otetaan huomioon lumimäärän kehittyminen viimeisessä kohteessa. Lähtöarvolla tarkoitetaan sitä lumimäärää, joka aiheuttaa työn käynnistymisen ensimmäisessä kohteessa. Lumikerroksen kasvaessa työ periaatteessa hidastuu koneen tehosta riippuen. Pyryn edelleen jatkuessa on ensimmäisessä kohteessa jo uutta lunta, kun viimeinen kohde on hoidettu. Silloin kun viimeisen kohteen valmistuttua ensimmäisessä kohteessa on enemmän lunta kuin mikä oli lähtöarvo, ollaan ongelmien edessä. Kiinteistöhoito-organisaation konekanta on yleensä mitoitettu niin, että nämä tilanteen ovat tuotekuvauksissa sallittuja harvoin tapahtuvia poikkeuksia. Laatuvaatimusten mukaan välittömästi työn jälkeen aurattava alue tulee olla puhdas irtolumesta. Työn aikana tulee varoa piha-alueiden mahdollisia vaurioituvia rakenteita. Määrämittauksena aurauksessa käytetään pinta-alaa neliömetreinä. (RTS 2009; Voijola 1994, s. 11)



**Kuva 27** Lumen kertyminen ja lumitöiden lähtöarvo (Voijola, 1994, s. 11)

Liukkaudentorjunta kiinteistöjen piha-alueilla on tehtävä huolellisesti ja ennakoiden, jotta välttyttäisiin omaisuus- ja henkilövahingoilta. Hoitoluokassa A2 työhön on ryhdyttävä aina, kun säätilassa tapahtunut muutos aiheuttaa liukkauden tuntuvan lisääntymisen. Tällaisia tilanteita ovat sään lauhtuminen, alijäähtynyt sade, kostean pinnan jäätyminen eli musta

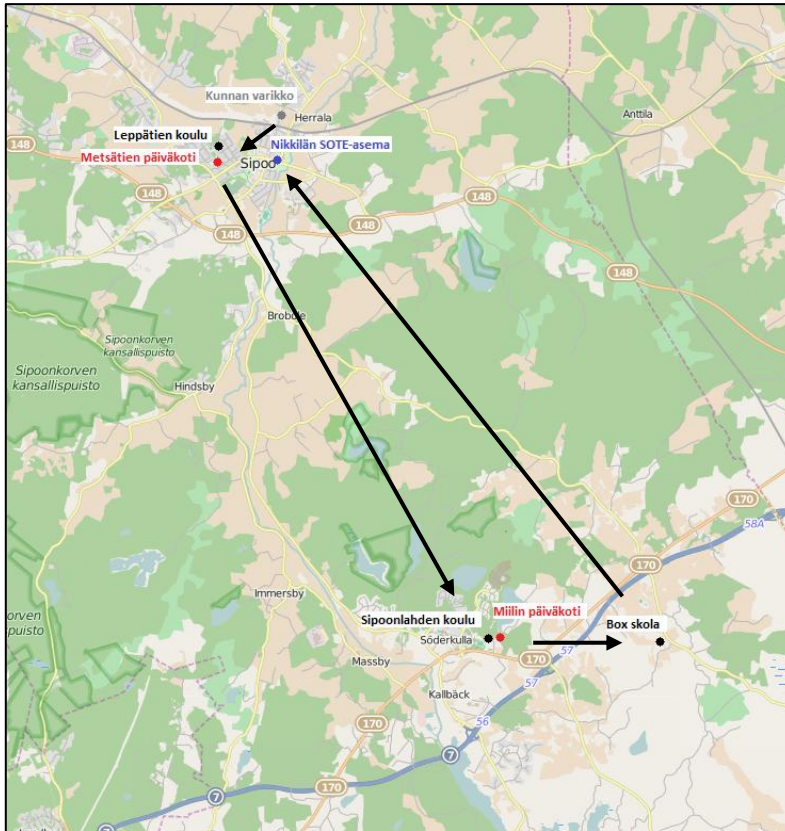


jää, piha-alueelle valuneen veden jäätyminen ja joissain tapauksissa myös lumisade. Liukkaudentorjunnassa käytettävä materiaali on määritelty hoitokortissa ja se tulee hyväksyttäväksi tilaajalla. Kiinteistöjen piha-alueilla käytetään ensisijaisesti hiekkaa ja sora- tai kalliomursketta. Kiviaineksen ohjeellinen rakeisuusalue on 0 - 6 mm ja liukkaudentorjuntamateriaali on levitettävä tasaisesti käsiteltäville alueille ja lisäksi ohjeellinen levitysarvo on  $0,2 \text{ m}^3 / 1000 \text{ m}^2$ . Suolan käyttö liukkaudentorjunnassa on ensisijaisesti kielletty, mutta tapauskohtaisesti voidaan kuitenkin hyväksyä suolan käyttö erikseen sovittavissa, yksittäisissä erityiskohteissa. (RTS 2009.)

Hiekoitushiekan poisto tulee aloittaa keväällä kun lumi on sulanut ja oletettavasti liukkaudentorjuntaa ei enää tarvita. Kyseiselle toimenpiteelle ei ole A2-hoitoluokassa määritelty tarkkaa ajankohtaa tai muita määreitä, vaan työn suorituksen aloittamisesta sopivat tilaaja ja urakoitsija etukäteen. Käytettävän kaluston tulee täyttää työturvallisuusohjeet ja – määräykset. Työn aikana ei saa esiintyä pölyämistä, ja pölyäminen on estettävä aina riittävällä kastelulla ennen hiekan poistamista. Poistettava hiekoitushiekka kerätään talteen ja kuljetetaan tilaajan osoittamaan paikkaan. Vain erikseen sovittaessa hiekoitushiekkaa voidaan harjata ympäröivään maastoon. (RTS 2009.)

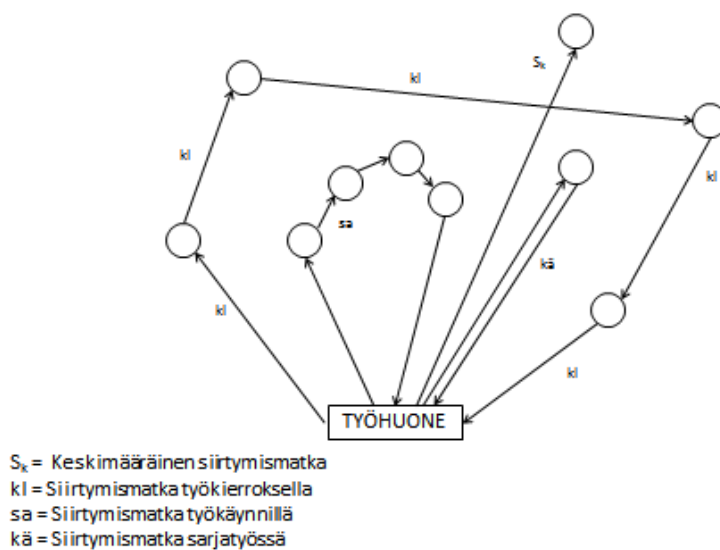
### **2.3.2.3 Siirtymät**

Siirtymät vaikuttavat kokonaistyöaikaan merkittävästi ja niiden huomioiminen kokonaistyöajan laskemisessa on tärkeää. Tässä työssä tarkastellaan kiinteistöjä ja rakennuksia, jotka sijaitsevat Sipoon kunnan alueella (kuva 28). Sipoon kunta on rakenteeltaan melko hajanainen ja sillä on monta eri kyläkeskusta, joten etäisyydet eri kohteiden välillä voivat nousta pitkiksi. Siirtymistä kiinteistönhoidon kontekstissa puhuttaessa tulee ottaa huomioon se, että kiinteistönhoitaja siirtyy itse kiinteistössä sekä alueella, jossa nämä kiinteistöt sijaitsevat. Lisäksi, jos alue on etäällä tukikohdasta, kiinteistönhoitaja siirtyy vielä itse alueelle. Siirtymiset lasketaan joko kiinteistönhoitajan menetelmiin mukaan tai näiden menetelmien lisäksi. Silloin kun huolto-organisaatio tekee omia menetelmiään, voidaan alueen keskimääräiset siirtymiset laskea mukaan menetelmään, jolloin erillistä siirtymien laskentaa ei tarvita. Menetelmä, jossa on kaikki siirtymismatkat mukana on työkierron eli työohjelma. Työkierron aikana voidaan tehdä useampia eri tuotteisiin kuuluvia menetelmiä yhdellä siirtymisellä. Yksi tapa laskea vuosittaisten siirtymien määrä, on laskea vuosittaisten siirtymien keskiarvo. ( $S_k$  = keskimääräinen siirtymisaika = painotettuun alueelliseen keskipisteeseen ja takaisin). Keskiarvo lasketaan erikseen työkyynneille ja työkierroksille talossa sekä alueella. (Voijola 1994a, s. 25.) Tässä työssä laskettiin jokaisen Sipoon kunnan omistaman kiinteistön etäisyys toisistaan sekä minuutteina että kilometreinä. Näin ollen voitiin rakentaa tarkka malli kiinteistönhoidon mitoittamiseen Sipoon kuntaverkon rakenne ja siirtymät huomioon ottaen. Mallin avulla voidaan laskea yksittäisten kohteiden ajat kunnan varikolle ja takaisin. Lisäksi voidaan laskea useita kiinteistöjä sisältävien hoitokierrosten siirtymiin kuluva aika.



**Kuva 28: Esimerkki siirtymistä Sipoon kunnan kohteissa (OpenStreetMap, 2015)**

KIMI-mitoituksessa työkäynnin siirtymismatkaksi yhtä työkohdetta kohti katsotaan samaksi kuin keskimääräinen siirtyminen (kuva 29). Työkierroksen siirtymismatkaksi kohteiden välillä katsotaan kaksi kertaa keskimääräinen siirtymismatka. Siirtymismatka muodostuu useilla työkierroksilla keskimäärin tämän pituiseksi. Sarjatyön siirtymismatkaksi katsotaan yksi kertaa keskimääräinen siirtymismatka. (Voijola 1994a, s. 26.)



**Kuva 29 Siirtymisaika yhdessä rakennuksessa (Voijola 1994a, s. 26)**

### 2.3.2.4 Laatuluokka ja ulkoalueiden ominaisuudet

Laatuluokkien väliset erot sekä ulkoalueiden ominaisuuksien vaihtelu vaikuttavat myös merkittävästi kiinteistönhoidon järjestämiseen. Hyartt & Saari (1992) tutkivat omassa raportissaan kiinteistönhoidon työmenekkiin vaikuttavia tekijöitä. Tarkasteltavia kohteita olivat keskimääräiset asuin- ja toimistorakennukset, joiden kiinteistönhoidon työmenekin määrää tarkasteltiin eri skenaarioiden avulla. Tutkimuksessa selviää, että ulkoalueiden määrä ja laatu vaikuttavat voimakkaasti huoltotyömenekkiin. Jos esimerkiksi asuinkiinteistön nurmialueiden määrä kaksinkertaistuu, kasvaa huoltotyömenekki 11 % (taulukko 17). Lisäksi ulkoalueiden pintarakenteilla on voimakas vaikutus siivoustyömenekkiin. Jos kestopäällystetyt alueet muutetaan soraksi, kasvaa siivoustyömenekki 18 %. Lisäksi ulkoalueiden hoitoluokka vaikuttaa voimakkaasti huollon työmenekkiin. Jos esimerkiksi kaikki ulkoalueet nostetaan toisesta hoitoluokasta ensimmäiseen, kasvaa huollon työmenekki 25 % ja hoitokustannukset 4 %. (Hyartt & Saari 1992, s. 21.)

Asuinrakennuksen ulkoalueiden laadun muutosten skenaariot:

1. nurmialueiden määrä kaksinkertaistetaan
2. sora-alueiden määrä kaksinkertaistuu
3. kestopäällysteiden määrä kaksinkertaistuu
4. kestopäällysteet muutetaan soraksi
5. ei lainkaan nurmialueita

**Taulukko 17** Ulkoalueiden määrien ja pinnan laadun vaikutus hoitomenekkeihin ja -kustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 21)

Asuinrakennus			Skenaario				
		vert.taso	1	2	3	4	5
<b>Kestopäällysteet</b>	m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	0,4	0,4	0,4	0,8	0	0,4
<b>Sora-alueet</b>	m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	0,55	0,55	1,1	0,55	0,95	0,55
<b>Nurmialueet</b>	m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	0,4	0,8	0,4	0,4	0,4	0
<b>Siivoustyömenekki</b>	tth/brm <sup>2</sup>	0,11	0,11	0,11	0,11	0,13	0,11
<b>Huollon työmenekki</b>	tth/brm <sup>2</sup>	0,295	0,326	0,368	0,343	0,302	0,264
<b>Vedentarve</b>	m <sup>3</sup> /brm <sup>2</sup>	2,14	2,2	2,14	2,16	2,12	2,08
<b>Hoitokustannukset</b>	mk/brm <sup>2</sup>	89,9	92,2	93,9	92,7	91,3	87,5
<b>Hoitokustannukset ero</b>	%	-	<b>2,6 %</b>	<b>4,4 %</b>	<b>3,1 %</b>	<b>1,6 %</b>	<b>- 2,7 %</b>

Päällysteiden muutosten lisäksi hoitoluokan muuttuminen vaikuttaa huollon työmenekkiin sekä hoitokustannuksiin (taulukko 18). Jos hoitoluokka lasketaan toisesta luokasta kolmanteen, vähenevät hoitokustannukset -2,3 %. Vastaavasti hoitoluokan nostaminen toisesta luokasta ensimmäiseen kasvattaa hoitokustannuksia 4,4 %.

**Taulukko 18** Ulkoalueiden hoitoluokan vaikutus huollon työmenekkiin ja hoitokustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 21)

Asuinrakennus		Ulkoalueiden hoitoluokka		
		1	2	3
<b>Huollon työmenekki</b>	tth/brm <sup>2</sup>	0,368	0,295	0,258
<b>Hoitokustannukset</b>	mk/brm <sup>2</sup>	93,9	89,9	87,8
<b>Hoitokustannusten ero</b>	%	<b>4,4 %</b>	<b>-</b>	<b>- 2,3 %</b>

Toimistorakennuksen ulkoalueiden laadun muutokset ovat samansuuntaisia kuin asuinrakennuksissa. Ulkoalueiden määrä vaikuttaa voimakkaasti huoltotyömenekkiin ja vedentarpeeseen. Jos esimerkiksi toimistorakennus sijoitetaan ahtaalle tontille, jolle rakennetaan ainoastaan kestopäällystetyt parkkialueet ja ei lainkaan nurmialueita, pienenee työmenekki 20 %, vedentarve 17 % ja hoitokustannukset 4 %. Ulkoalueiden pintarakenteilla on suuri merkitys erityisesti siivoustyömenekkiin. Mikäli pihamaa on kokonaan sorapäällysteinen, kasvaa siivoustyömenekki 7 % ja hoitokustannukset 3 %. Ulkoalueiden hoitoluokka vaikuttaa merkittävästi huollon työmenekkiin. Jos esimerkiksi kaikki ulkoalueet nostetaan toisesta hoitoluokasta ensimmäiseen, kasvaa työmenekki 21 % ja hoitokustannukset 3 % (taulukko 19). (Hyartt & Saari 1992, s. 20.)

Toimistorakennuksen ulkoalueiden laadun muutosten skenaariot:

1. nurmialueiden määrä kaksinkertaistetaan
2. kestopäällysteet muutetaan sorapäällysteiseksi
3. ei lainkaan nurmialueita (ahdas tontti)
4. nurmialueet muutetaan kestopäällysteiseksi
5. kestopäällysteiden määrä kaksinkertaistuu

**Taulukko 19** Ulkoalueiden määrien ja pinnan laadun vaikutus hoitomenekkeihin ja -kustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 20)

Toimistorakennus			Skenaario				
		vertailutaso	1	2	3	4	5
Kestopäällysteet	m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	0,4	0,4	0	0,4	1,1	0,8
Sora-alueet	m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	0	0	0,4	0	0	0
Nurmialueet	m <sup>2</sup> /brm <sup>2</sup>	0,7	1,4	0,7	0	0	0,7
Siivoustyömenekki	tth/ brm <sup>2</sup>	0,73	0,73	0,78	0,73	0,73	0,73
Huollon työmenekki	tth/ brm <sup>2</sup>	0,273	0,327	0,276	0,218	0,298	0,323
Vedentarve	m <sup>3</sup> / brm <sup>2</sup>	0,66	0,76	0,64	0,55	0,59	0,68
Hoitokustannukset	mk/ brm <sup>2</sup>	117,3	121,3	120,3	113,1	118	120,2
Hoitokustannusten ero	%	-	3,4 %	2,6 %	- 3,6 %	0,6 %	2,5 %

Taulukosta 20 huomataan, että hoitoluokan muuttuminen vaikuttaa huollon työmenekkiin sekä hoitokustannuksiin hieman vähemmän kuin asuinkiinteistön osalta. Jos hoitoluokka lasketaan toisesta luokasta kolmanteen, vähenevät hoitokustannukset -1,4 %. Vastaavasti hoitoluokan nostaminen toisesta luokasta ensimmäiseen kasvattaa hoitokustannuksia 2,6 %.

**Taulukko 20** Ulkoalueiden hoitoluokan vaikutus huollon työmenekkiin ja hoitokustannuksiin (Hyartt & Saari 1992, s. 20)

Toimistorakennus		Ulkoalueiden hoitoluokka		
		1	2	3
Huollon työmenekki	tth/brm <sup>2</sup>	0,329	0,273	0,242
Hoitokustannukset	mk/brm <sup>2</sup>	120,4	117,3	115,6
Hoitokustannusten ero	%	2,6 %	-	- 1,4 %

Kuten aikaisemmin todettiin, on kiinteistötyölle leimaa-antavaa vuodenajoista johtuva töiden kausivaihtelu. Myös työkuormitus vaihtelee kausittain ja tuotteittain. Maantieteellinen sijainti vaikuttaa luonnollisesti töiden määrään. Mitä lyhyempi kasvukausi on, sitä pitempi lumenpoistokausi ja sitä enemmän esimerkiksi lumisadetahtumia sekä lumitöiden työkertoja. KIMI-suunnittelujärjestelmässä maa on jaettu kolmeen eri alueeseen lumisateiden keskimääräisten esiintymiskertojen perusteella:

- A (Etelä- ja Länsi Suomi),
- B (Keski-Suomi) ja
- C (Itä- ja Pohjois-Suomi) (taulukko 21). (Hyartt & Saari 1992, s. 23.)

**Taulukko 21** Rakennuksen alueellisen sijainnin vaikutus kustannuksiin ja työmenekkiin (Hyartt & Saari 1992, s. 23.)

		Alue		
		A	B	C
<b>Kestopäällysteiden hoito</b>	tth/m <sup>2</sup>	0,097	0,114	0,122
<b>Huoltotoimen työmenekki</b>	tth/brm <sup>2</sup>	0,277	0,295	0,303
<b>Hoitokustannusten ero</b>	%	- 1	-	0

Sijainnin lisäksi valittu työmenetelmä (konetyö/käsityö) vaikuttaa voimakkaasti sekä huoltotoimen työmenekkiin että hoitokustannuksiin. Jos esimerkiksi asuinrakennuksen piha-alueet puhdistetaan kokonaan käsityönä, kasvaa huoltotoimen työmenekki 83 % ja hoitokustannukset 14 % verrattuna perustapaukseen, jossa 80 % työstä tehdään konetyönä. Taulukossa 22 on esitetty päällystettyjen alueiden hoidon työmenekit KIMI-järjestelmän mukaan laskettuna. Rakennuksen sijainti vaikuttaa lisäksi melko voimakkaasti päällystettyjen alueiden hoidon työmenekkiin. Toisaalta kokonaisuhoitokustannuksiin lumitöiden määrien alueellisilla muutoksilla ei ole merkittävää vaikutusta. Jos esimerkiksi toimistorakennus sijaitsee Jyväskylän sijasta Rovaniemellä, kasvaa kestopäällysteiden hoidon työmenekki 7 %, huoltotoimen työmenekki 1 %, hoitokustannusten pysyessä entisellä tasolla. (Hyartt & Saari 1992, s. 23.)

**Taulukko 22** Päällystettyjen alueiden hoidon työmenekkien vertailu alueittain (Hyartt & Saari 1992, s. 23)

tth/m <sup>2</sup>	Hoitoluokka		
	1	2	3
<b>KIMI, käsityömenetelmät</b>			
<b>Alue A</b>	0,378	0,303	0,233
<b>Alue B</b>	0,464	0,366	0,266
<b>Alue C</b>	0,502	0,399	0,299
<b>KIMI, konetyömenetelmät</b>			
<b>Alue A</b>	0,051	0,046	0,04
<b>Alue B</b>	0,057	0,051	0,044
<b>Alue C</b>	0,061	0,053	0,045

### 2.3.3 Nykyiset mallit kiinteistönhoidon mitoitukseen

Suomalainen kiinteistöalan työmenetelmätutkimus on ollut Kangasluoman (2013) mukaan ainutlaatuista koko maailman mittakaavassa. Alun perin työmenetelmätutkimusta on harrastettu 1970-luvulla siivous- ja kiinteistötyön työaikoja ja – menetelmiä selvitettyä. Näiden tutkimusten myötä ovat syntyneet aikastandardit siivous- ja kiinteistöalan töille, joilla on myös työmarkkinaosapuolten hyväksyntä. Työmenetelmätutkimusta tehdessään ja standardiaikaa määrittäessään työntutkijat ovat huomioineet matemaattisen kaavan mukaan työn joutuisuuden ja määrittäneet eri töiden vaatimat lepoajat. Tutkimukseen osallistuvat työntekijät on perehdytetty ennen tutkimusta tutkittavan menetelmän oikeaoppiseen suorittamiseen. Tutkimuksen yhteydessä työvaiheet on toistettu useita kertoja ja aikaotoksia on otettu menetelmän eri vaiheista. (Kangasluoma 2013, s. 84.)

Nykyiset kiinteistönhoidon mitoitusohjelmat pohjautuvat pääosin KIMI-mitoitusjärjestelmään. Alkuperäinen KIMI-järjestelmä laadittiin vuosina 1986–1990 eri kiinteistöhoito-organisaatioissa tehtyjen työntutkimusten ja toimintatapojen tutkimusten perusteella. KIMI-järjestelmän pääasiallinen tarkoitus oli olla tavoitteen asettelun ja työmenetelmien sekä ajankäytön apuväline talonmiestyypin työn henkilöstötarpeen selvittämisessä. Tulokset julkaistiin raporttisarjana v. 1990, ja näitä tuloksia täydennettiin vielä vuosina 1994 – 1999. KIMI-mitoitusjärjestelmä on ollut kiinteistöhoitoyritysten käytävissä vuodesta 1990 alkaen ja KIMI-työnhallintajärjestelmä vuoden 1994 alusta. (Kangasluoma 2013, s. 84.)

Voijolan (1999) mukaan samantapaista tutkimusta kuin 1980-luvun lopulla tehty KIMI-tutkimus oli, ei ole sittemmin tehty. Tutkimuksessa onnistuttiin keräämään hyödyllistä perustietoa eri kiinteistöhoito-organisaatioiden toiminnasta. Suomessa on muodostettu työntutkijoiden toimesta tähän mennessä tutkittujen kiinteistönhoidon ja – huollon menetelmien pohjalta yhteensä 312 työaikastandardia. Huomioitavaa on, että muualla maailmassa menetelmätutkimusta ei ole tehty kansainvälisesti hyväksyttyjen työntutkijoiden toimesta niin, että tutkimustulokset olisivat julkisesti saatavilla. (Voijola 1999; Voijola 1994.)

Tietokoneiden myötä on mahdollistunut mitoituksen tekeminen sekä yksittäisillä standardeilla että yksittäisten standardien yhdistelmällä eli kokonaisstandardilla. Kokonaisstandardilaskenta oli hallitseva laskentatapa 1990-luvun loppuun saakka. Siinä oli kuitenkin vajaavaisuuksia, kuten epätarkkuus, vaivalloinen mallityöpakettien räätälöinti sekä vaikeus todentaa ja hallita työpaketteja mitoitusohjelmilla. 2000-luvun alussa kiinteistönhoidon mitoituksessa otettiin käyttöön Windows-pohjaiset ohjelmistot, ja niiden myötä kokonaisstandardilaskenta helpottui. Uusilla ohjelmistoilla oli mahdollista tuottaa niin kustannuslaskenta, laatukuvaukset, työohjeet kuin raportointikin. Ohjelmiin tuli myös ensimmäiset piirustusten käsittelyohjelmistot, joista tiedot voitiin siirtää suoraan laskettavaksi kiinteistötyön mitoitusohjelmistoon. (Kangasluoma 2013, s. 85.)

Nyky aikaisten mitoitusohjelmien myötä läpinäkyvä laskenta korvasi kokonaisstandardilaskennan. Läpinäkyvä laskenta perustuu niin ikään valmiisiin mallipaketteihin, mutta toisin kuin kokonaisstandardilaskennassa, mallityöpakettien kaikki tiedot ovat suoraan nähtävissä ja muokattavissa tietokoneen ruudulla. Läpinäkyvän laskennan etuna on myös se, että mitoitettu työ voidaan selvittää ohjelmiston avulla euroina ja tunnuslukuina. Mittausohjelmistoissa kiinteistötyön eri vaiheet on mitoitettu

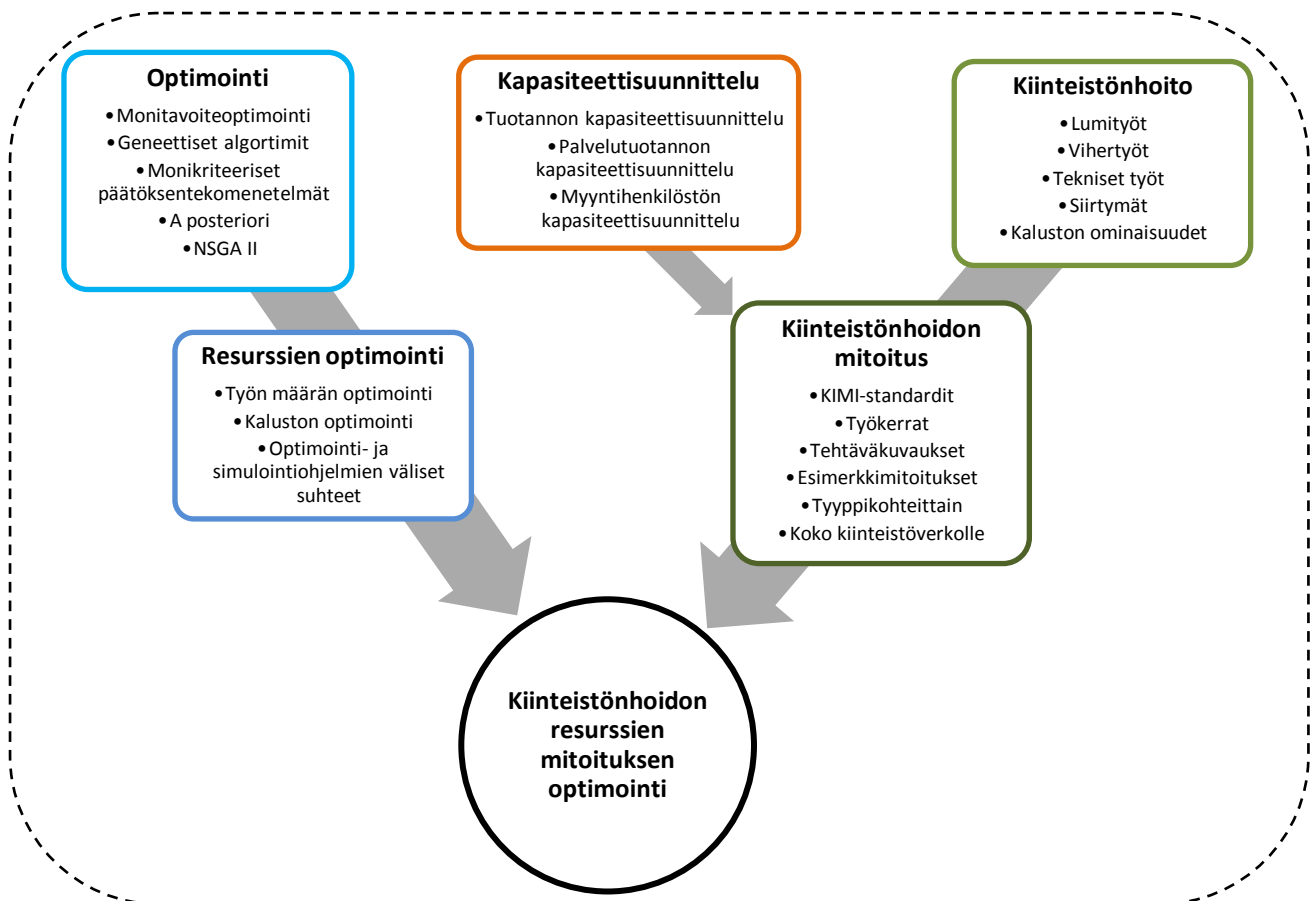
siten, että mitoituksessa saatava työaika perustuu kaikkiin mahdollisiin työnteon kestoon vaikuttaviin tekijöihin. Näitä tekijöitä ovat työvälaineet ja – koneet, koneiden työlaitteet, materiaalit, pinnat yms. Eri tekijöitä määritellään niin paljon kuin mahdollista oikean työajan löytämiseksi. (Kangasluoma 2013, s. 85.)

Voijolan (1999) raportissa nousee esille, että työntekijän vuotuisen työmäärän laskeminen ei ole päämäärä kiinteistönhoidon mitoituksessa. Vuotuisen työmäärän laskeminen on vain lähtötieto kiinteistönhoidon kokonaisvaltaiseen suunnitteluun. Suunnittelulla tulisi pyrkiä kunkin yksilöllisen kiinteistön kunnon ja toimivuuden vaatimien töiden selvittämiseen, ja näiden vaatimusten mukaisten töiden toteuttamiseen. Ideana on, että vasta toteuttaminen vaatii tarvittavien resurssien selvittämisen. Kiinteistön haluttu kunto ja toimivuus pitää saavuttaa mahdollisimman taloudellisesti eli mahdollisimman pienellä työmäärällä ja kustannuksilla. KIMI-menelmissä on merkittävää se, että ne on ensin teoreettisesti suunniteltu ja lisäksi käytännössä toteutettu sekä näiden toteutustietojen perusteella tarkistettu. (Voijola 1999, s. 3, 5.)

## **2.4 Kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin viitekehys**

Tarkasteltujen tutkimusten ja artikkelien pohjalta on muodostettu viitekehys, joka ottaa huomioon eri osa-alueiden parhaat puolet tämän työn kontekstissa. Kuten kuvassa 30 on esitetty, tässä viitekehyksessä yhdistyvät resurssien optimointi ja kiinteistönhoidon mitoittaminen. Lisäksi kapasiteetinsuunnittelun tarkastelulla pyrittiin luomaan vahva teoreettinen pohja ja ylätasen näkökulma tuotannon- ja palvelutuotannon kapasiteetisuunnitteluun sekä näissä käytettyihin menetelmiin. Tuotannon kapasiteetisuunnittelun käsittely antoi yleisnäkemyksen kapasiteetin suunnittelusta ja näissä käytetyistä menetelmistä. Tuotannon kapasiteetisuunnittelusta johdetut palvelutuotannon kapasiteetisuunnittelun menetelmät sekä erityisesti myyntihenkilöstön kapasiteetisuunnitteluun kehitetyt menetelmät vastaavat perusajatukseltaan käytännössä täysin kiinteistönhoidon kapasiteetin ja työmäärän laskentaa.

Optimoinnin kirjallisuuskatsauksen perusteella selvisi, että suurin osa resurssien optimointiin käytetyistä menetelmistä perustutuvat geneettisiä algoritmeja hyödyntäviin optimointimalleihin. Tarkemmin määriteltynä optimointimalleina käytettiin hyväksi monitavoiteoptimointia. Monitavoiteoptimoinnin hyödyntäminen resurssien optimoinnissa on suosittua siitä syystä, että sen avulla voidaan optimoida monta eri funktiota ja ristiriitaista tavoitetta samanaikaisesti. Optimointiongelmien yhteydessä käytetyimmät algoritmit olivat geneettisiä algoritmeja tai näiden muunnoksia. Geneettisten algoritmien käyttöä tukee niiden kyky optimoida resurssien ominaisuuksia erilaisten rajoitusten vallitessa. Lisäksi tutkimuksista selvisi, että yleisimmät optimoitavat suureet ovat aika ja kustannukset. Näin ollen useimmat tutkimukset keskittyivät siihen, kuinka olisi mahdollista saavuttaa optimaalinen aika-kustannus-suhde. Joissain tapauksissa optimoitavia suureita oli enemmän, mutta oikein määriteltyjen funktioiden ja algoritmien avulla näidenkin ongelmien ratkaisu oli mahdollista.

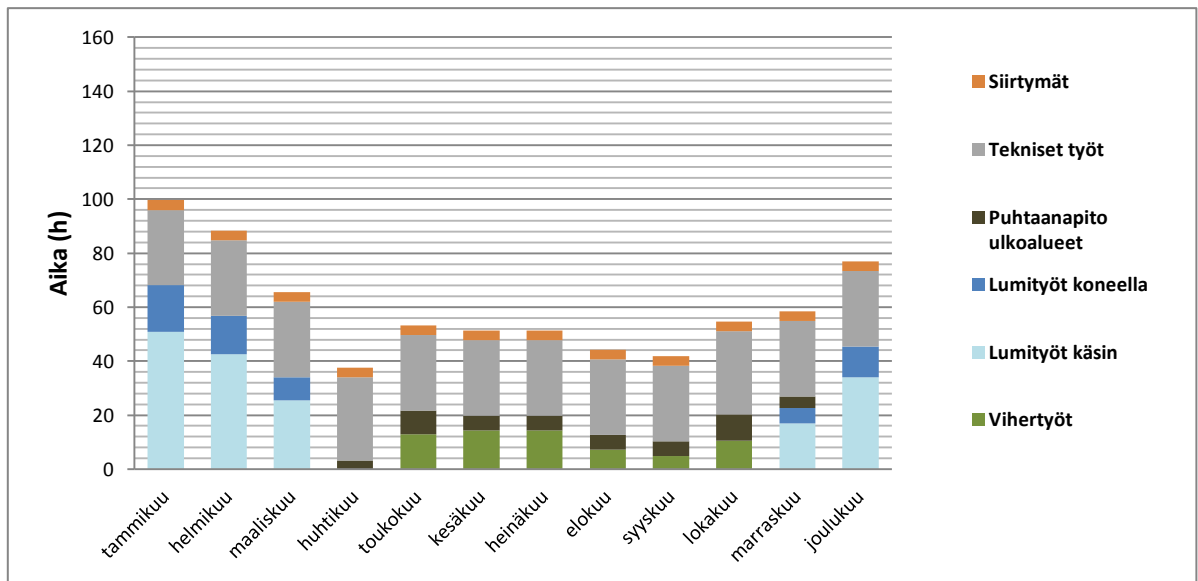


**Kuva 30** Kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin viitekehys

Tarkasteltujen resurssien optimoinnin tutkimusten perusteella valittiin tämän työn optimointia varten tarpeelliset optimointimallit ja algoritmit. Luonnollisesti monitavoiteoptimointi tulee kysymykseen tässä työssä, sillä ratkaistavassa ongelmassa on kaksi kohdefunktiota. Lisäksi algoritmiksi valittiin geneettiset algoritmit ongelman luonteen ja algoritmien ominaisuuksien takia. Tutkimuksissa käytetyt optimointi- ja simulointiohjelmien väliset suhteet sekä ominaisuudet vastaavat perusajatukseltaan hyvin pitkälti tässä työssä käytettyä MOBO/Excel-ohjelmisto yhdistelmää.

Kiinteistönhoidon erityispiirteiden huomioonottamiseen optimointimallissa pitää kiinnittää huomiota. Erityisesti töiden kuukausittaisen jakautumisen huomioiminen laskennassa tulee ottaa huomioon, sillä tiettyjä töitä (esim. lumityöt ja nurmityöt) voidaan suorittaa vain tiettyinä vuodenaikoina. Näin ollen optimointimallin perusominaisuutena tulee olla kahdentoista kuukauden sykli, jossa jokaiselle kuukaudelle on määritetty etukäteen siihen kohdistuva työmäärä, kuten kuvan 31 esimerkistä voidaan havaita. Nämä töiden suorittamisen rajoitukset määritellään suoraan lähtötiedoiksi käytettävään optimointiohjelmaan.





**Kuva 31** Esimerkki työmäärän jakautumisesta kuukausittain

Edellä käsiteltyjen aihealueiden ja teorioiden yhdistelmällä on mahdollista sovittaa kiinteistönhoito ja optimointi yhteen, sekä luoda käyttökelpoinen viitekehys kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnille. Kehitettävä malli ottaa huomion kiinteistönhoidon erityispiirteet sekä aikaisemmin laadittujen resurssien optimoinnin tutkimusten tulokset.

### 3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimusaineisto

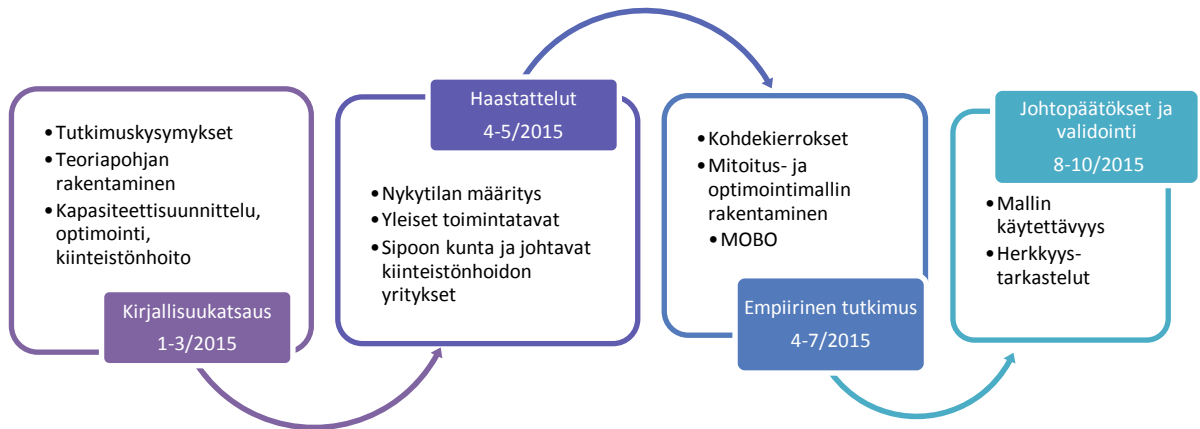
Tässä luvussa käydään tarkemmin läpi tutkimuksen toteutus sekä käytetyt menetelmät ja aineistot. Lisäksi tarkastellaan tutkimuksen kulkua ja sen sisältöä. Pääasiallisena tutkimusmenetelmänä on määrällinen tapaustutkimus, jossa yhdistyy kirjallisuuskatsaus ja empiirinen tutkimus. Kirjallisuuskatsauksen avulla luodaan teoreettinen pohja työn empiirisen tutkimuksen osuudelle. Työssä käytetään lisäksi laadullisia tutkimusmenetelmiä haastattelututkimuksen muodossa. Haastatteluiden tarkoituksena on saada eri asiantuntijoilta näkökulmia kehitettyyn malliin, taustoihin ja lähtötietoihin sekä ylipäänsä kartoittaa tämän hetkinen tilanne sekä Sipoon kunnassa että laajemmin kiinteistöhoitoalalla. Lopuksi tarkastellaan tutkimuksessa käytettyjä aineistoja ja niiden taustaa.

#### 3.1 Tutkimusprosessi

Pääasiallisen tutkimusmenetelmän ollessa tapaustutkimus, sillä on vaikutuksia myös koko tutkimuksen prosessin kulkuun. Tapaustutkimuksessa on kyse tutkimusstrategiasta, jolla tutkimus toteutetaan ja jossa tehdään tietyt vaiheet riippumatta siitä, minkälaista tapaustutkimusta ollaan tekemässä. Vaikka tapauksia tarkastelevan tutkimusstrategian suunnittelu voi olla suoraviivaista, itse tutkimuksen tekeminen on monimuotoinen ja iteratiivinen prosessi, jossa palataan tarpeen tullen takaisin ja tarkennetaan sekä keskustelutetaan aineistoja keskenään. Lisäksi menetelmän etuna on, että sen avulla voidaan kehittää iteratiivisesti vuoropuhelua teorian ja empirian välillä parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaansaamiseksi. Intensiiviselle tapaustutkimukselle ei ole yhtä vakiintunutta kaavaa, vaan hyvän tutkimuksen voi toteuttaa monella tavalla. Tutkimuksen etenemisen järjestys ei ole välttämättä täysin ennalta määrätty ja eri työvaiheisiin palataan useaan kertaan tutkimusprosessin kuluessa. Esimerkiksi tutkimuskysymyksiä muokataan, tarkennetaan ja hiotaan useassa vaiheessa. Tapaustutkimuksen keskeisten työvaiheiden etenemisjärjestys Erikssonin & Koistisen (2014) mukaan on seuraavanlainen:

1. tutkimuskysymysten muotoileminen
2. tutkimusasetelman jäsentäminen
3. tapausten määrittely ja valinta
4. käytettävien teoreettisten näkökulmien ja teoreettisten käsitteiden määrittely
5. aineiston ja tutkimuskysymysten välisen vuoropuhelun logiikan selvittäminen
6. aineiston analyysitapojen ja tulkintasääntöjen päättäminen
7. raportointitavan päättäminen. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 22.)

Tämän työn tutkimusprosessi toteutettiin kokonaisuudessaan vuoden 2015 aikana ja noudattelee tapaustutkimuksen keskeisten työvaiheiden etenemisjärjestystä. Tutkimusprosessista voidaan erottaa neljä selkeää vaihetta; kirjallisuuskatsaus ja haastattelut, mitoitus- ja optimointimallien luonti ja testaus sekä johtopäätösten ja yhteenvedon tekeminen (kuva 32).



**Kuva 32** Tutkimusprosessi

Tälle tutkimukselle lähtösysteeyksen antoi Sipoon tarve mitoittaa kunnan kiinteistönhoito oikealle tasolle. Mitoittamisen toteutustavaksi valittiin ulkopuolinen diplomityö. Työn alkuvaiheessa määritettiin työn tavoitteet ja aikataulu yhteistyössä Sipoon kunnan ja Granlund Oy:n kanssa yhteisessä aloituspalaverissa. Tässä vaiheessa hahmotettiin alkuperäiset tutkimuskysymykset, joiden pohjalta lähdettiin etsimään aineistoja. Täytyy huomata, että alkuperäiset tutkimuskysymykset muuttuivat tutkimuksen edetessä, kun käsiteltävä ilmiö ja teoria alkoivat hahmottua paremmin. Tämän jälkeen suoritettiin kirjallisuuskatsaus, jossa käsiteltiin kapasiteettisuunnittelun-, optimoinnin sekä kiinteistönhoidon teoriaa. Pääpaino tutkimuksessa oli kirjallisuuskatsauksessa, jonka perusteella voitiin rakentaa käytettävät mitoitus- ja optimointimallit. Haastatteluiden tarkoituksena oli saada tarkempaa tietoa tällä hetkellä käytössä olevista kiinteistönhoidon menetelmistä ja -malleista, jotta kehitetty malli vastaisi mahdollisimman hyvin tosielämän haasteisiin.

Teoriaosuuden jälkeen työssä keskityttiin empiiriseen tutkimukseen. Empiirisen osan alussa kerättiin tarvittavat lähtötiedot sekä mitoitus että optimointimallien muodostusta varten. Lähtötiedot kiinteistöistä kerättiin kohdekierrosten avulla. Tutkimuksen empiirisessä osiossa luotiin tarkastellun teorian perusteella mitoitusmalli, jonka avulla tehtiin mitoituksia tyyppikohteille. Mitoitustuloksia hyödynnettiin tämän jälkeen optimointimallin kehittämisessä. Lopuksi mallia testattiin sekä yksittäisten kiinteistöjen että kiinteistöverkkotason tarkasteluilla.

## 3.2 Sovelletut tutkimusmenetelmät

Tässä luvussa käydään läpi tutkimuksessa käytettyjä ja sovellettuja menetelmiä. Aluksi luodaan yleiskuva tapaustutkimukseen ja sen erityispiirteisiin sekä siihen miksi juuri tapaustutkimus soveltuu tähän työhön. Seuraavaksi käsitellään tarkemmin kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen tutkimuksen etenemistä.

### 3.2.1 Tapaustutkimus

Tässä tutkimuksessa on yhdistelty eri tutkimusmenetelmiä parhaan mahdollisen lopputuloksen aikaan saamiseksi kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen kontekstissa. Tutkimuksen pääasiallinen menetelmä on määrällinen tapaustutkimus. Tutkimuksessa on etukäteen määritelty tutkittava kohde ja ilmiö; Sipoon kunnan kiinteistönhoidon resurssit ja näiden resurssien optimointi. Tapaustutkimuksessa tavoitteena ei ole muodostaa tilastollisesti yleistettävää tulosta vaan tutkia, miten todellisuus näyttäytyy suhteessa teorioihin. Erikssonin & Koistisen (2014) mukaan tapaustutkimusta luonnehditaan monimuotoisuutensa vuoksi enemmänkin tutkimusstrategiaksi tai lähestymistavaksi, ei niinkään metodologiaksi tai metodiksi. Lisäksi tapaustutkimuksen nimikkeellä voidaan tehdä tutkimusta useilla tieteenaloilla, monenlaisista lähtökohdista ja erilaisin tavoittein, jonka vuoksi tapaustutkimukselle on vaikea antaa yhtä yleispätevää tai kattavaa määritelmää. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 4.)

Eriksson & Koistinen (2014) määrittelevät tapaustutkimuksen nimensä mukaisesti yhden tai useamman asian tarkasteluksi, joiden määrittely, analysointi ja ratkaisu on tapaustutkimuksen keskeisin tavoite. Tämän vuoksi tapaustutkimuksessa ei ole koskaan itsestään selvää tai yhdentekevää, miten tutkittavat tapaukset valitaan, rajataan ja perustellaan. Tapaustutkimusmenetelmän käyttöä tässä työssä tukee myös tapaustutkimuksen ehtojen täyttyminen, joita ovat Yinin (2014) mukaan esimerkiksi mitä-, miten- ja miksi-kysymysten esiintyminen tutkimuskysymyksissä. Myös se tosiasia, että kyseisestä aiheesta on tehty vähän empiiristä tutkimusta, tukee tapaustutkimuksen käyttöä tässä tapauksessa. Lisäksi kriteerinä on, että tutkimuskohteena on jokin tämän ajan elävässä elämässä oleva ilmiö tai aihealue, jollainen tämän työn ongelmakin on. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 5; Yin 2014, 9–15.)

Tapaustutkimuksen vahvuutena on, että sen avulla voidaan hyödyntää monimenetelmälliselle tutkimukselle ominaista laadullisten ja määrällisten menetelmien rinnakkaista tai peräkkäistä käyttöä analysoitaessa erilaisilla aineistonkeruuteknikoilla kerättyä empiiristä tapaustutkimusaineistoa. Eri menetelmien soveltaminen nousee erityisesti tämän työn tutkimusprosessissa esille, sillä kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen osion yhdistäminen luo pohjan koko tutkimuksen kululle. Monimenetelmällisen tutkimusotteen vahvuutena voi pitää sitä, että taitavasti toteutettuna laadulliset ja määrälliset menetelmät täydentävät toisiaan paikaten yhdellä menetelmällä mahdollisesti syntyviä aukkoja ja näin tutkimuskysymyksiin pystytään vastaamaan laajemmin kuin yhtä menetelmää soveltaen olisi mahdollista. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 10.)

Tapaustutkimuksen tyyppejä on Erikssonin & Koistisen (2014) mukaan yhteensä viisi; kuvaileva, selittävä, eksploratiivinen, itsessään arvokas ja intensiivinen tapaustutkimus. Tässä työssä käytetään näistä tyypeistä intensiivistä tapaustutkimuksista, jonka tavoitteena on ainutlaatuisen ja tästä syystä teoreettisesti mielenkiintoisen tapauksen tiheä kuvaus, tulkinta ja ymmärtäminen. Intensiivisen tapaustutkimuksen tavoitteena on tuottaa

kontekstualisoitua tietoa yhdestä tapauksesta ja tutkia tapausta monipuolisesti sen tieteellisessä ympäristössä. Täytyy huomata, että intensiivisen tapaustutkimuksen tarkoituksena ei ole tehdä tapausta koskevia yleistyksiä, vaan pikemminkin selvittää millä logiikalla juuri tämä kyseinen tapausesimerkki toimii. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 18.) Tässä tutkimuksessa kehitetään kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointimalli, jota testataan erilaisilla määrittelyillä. Näin ollen saadaan tietoa siitä, miten juuri tämä kehitetty malli toimii ja reagoi eri muutoksiin.

Intensiivisen tapaustutkimuksen tarkoituksena on Erikssonin & Koistisen (2014) mukaan tuottaa eräänlainen ”tarina”, joka kiinnostaa muita tutkijoita sekä tutkimukseen osallistuneita ja muita alan ihmisiä. Tarinassa tutkija tuottaa yhden version ”totuudesta” ja yhden mahdollisen, mutta hyvin perustellun, tulkinnan tapauksesta. Tutkijan rooli on olla aktiivinen tulkitsija, joka tavoitteellisesti rakentaa tapauksen tutkimusraportissaan; hän päättää, mikä tapauksessa on erityisen kiinnostavaa hänen valitsemillaan, mutta etukäteen tarkasti perustelluilla kriteereillä. Huomioitavaa on kuitenkin, että intensiivistä tapaustutkimusta on kritisoitu joskus löysästä aineiston analyysistä, näytön puutteesta ja perustelemattomista johtopäätöksistä. Tapaustutkimuksen haasteena on yhdistää teoreettisia käsitteitä ja ideoita huolellisesti tehtyyn empiiriseen analyysiin. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 19.) Tässä työssä on pyritty luomaan kattavalla teoriaosuudella pohja myöhemmälle empiiriselle tutkimukselle, jotta johtopäätökset ja lopputulokset olisivat mahdollisimman hyvin perusteltavissa.

Tapaustutkimuksen monialaisten ja erilaisten aineistojen analysointi on Erikssonin & Koistisen (2014) mukaan tutkimusprosessin haastavin vaihe. Aineistojen analyysin tasoon vaikuttaa tutkimuksen tarkoitus ja tavoite. Analyysin tavoitteet taas voidaan jakaa karkeasti kolmeen kategoriaan; aineiston luokitteluun, analysointiin ja tulkintaan. Tässä tutkimuksessa sovelletaan tapaustutkimuksen analyysikeinoista kaavan etsimistä ja selittämistä sekä teoreettisten käsitteiden kehittämistä, sillä työn tavoitteena on selvittää miten kiinteistönhoidon optimoinnin analysointi- ja päätöksentekoprosessi tulisi toteuttaa, ja mitkä muuttujat ovat kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin kannalta merkittävimpiä tekijöitä kuntasektorilla. Selityksen rakentamisessa pyritään tuottamaan tapaukselle selitys, joka täsmentää käsitteiden ilmiöiden tai tapahtumien välisiä suhteita. Lopullinen selitys voi olla kehitetty malli tai se voi koostua prosessin kuvauksesta, joka yhdistetään prosessin lopputuloksiin ja näitä tuottavien mekanismien analyysiin. Teoreettisten käsitteiden kehittämisen analysointimallissa taas on tavoitteena jäsentää, vertailla ja ymmärtää omaa aineistoa ensivaikutelmaa syvällisemmin. Lisäksi tavoitteena on etsiä vastauksia asetettuihin tutkimuskysymyksiin ja lopulta tuottaa aineistosta jotain uutta verrattuna aikaisempaan tutkimukseen. (Eriksson & Koistinen 2014, s. 36–37.)

### **3.2.2 Kirjallisuuskatsaus**

Tapaustutkimuksen määrällinen eli kvantitatiivinen tutkimus toteutetaan systemaattisena kirjallisuuskatsauksena empiirisen tutkimuksen esivaiheena. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa keskeistä ovat johtopäätökset aiemmista tutkimuksista, aiemmat teoriat sekä käsitteiden määrittely (Hirsjärvi yms. 2006, s. 131). Tässä vaiheessa saatujen taustatietojen ja teorioiden tarkoituksena on selkeyttää kysymyksenasettelua ja rajata tarkemmin tutkittavaa ongelmaa. Lisäksi kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on antaa paremmat lähtökohdat suunnitella mahdollisimman tehokas ja soveltuva metodi empiiriselle selvitykselle. Kirjallisuudesta nousseiden soveltuvimpien mallien perusteella rakennetaan tämän työn mitoitus- ja optimointimallit.

Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on vastata kahteen ensimmäiseen tutkimuskysymykseen; **Mitkä tekijät ovat keskeisiä kiinteistönhoidon resurssien optimoinnille sekä mihin optimointimalleihin ja -algoritmeihin aiemmin suoritettut resurssien optimoinnin tutkimukset pohjautuvat?** Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa perehdytään tutkimusaiheeseen, siihen liittyvään teoriaan ja aiempaan tutkimukseen, joiden pohjalta muodostuu teoreettinen viitekehys. Yleisesti ottaen kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on kehittää olemassa olevaa teoriaa sekä rakentaa uutta teoriaa. Sen avulla voidaan lisäksi arvioida olemassa olevaa teoriaa sekä rakentaa kokonaiskuvaa tietyistä asiakokonaisuudesta. (Salminen 2011, s. 3.) Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on tiivistelmä tietyn aihepiirin aiempien tutkimusten olennaisesta sisällöstä ja sillä kartoitetaan sekä seulotaan esiin tieteellisten tulosten kannalta mielenkiintoisia ja tärkeitä tutkimuksia. Kirjallisuuskatsauksen avulla tavoitellaan yleiskatsausta valitusta aihepiiristä aiempia tutkimuksia hyödyntäen. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen erityispiirteenä on se, että lähdeaineiston tarkastelu etenee systemaattisten työvaiheiden kautta. Tiedonkeruu pohjautuu ennakkoon määritettyihin selkeisiin tutkimuskysymyksiin. Systemaattisen kirjallisuuskatsauksen aineisto muodostuu aikaisemmista tutkimuksista, jotka kerätään systemaattisen tiedonhaun menetelmällä. Tiedonkeruun tulee olla järjestelmällistä, tarkasti määriteltä, rajattua ja toistettavissa olevaa. (Kallio 2006, s. 19–21; Metsämuuronen 2009, s. 37–39, 47.)

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on vaiheittain etenevä ja se voidaan jakaa Finkin (2005) mukaan seitsemään osa-alueeseen. Ensimmäisessä vaiheessa asetetaan ja määritellään tutkimuskysymykset. Seuraavaksi valitaan käytettävät tietokannat, joista tehdään hakuja. Kolmannessa vaiheessa valitaan hakusanat ja – termit, jotka kuvaavat parhaiten työn tutkimuskysymysten muodostamaa ongelmaa. Tavoitteena on saada karsittua materiaaleja niin, että jäljelle jäävä materiaali vastaisi parhaiten tutkimuskysymyksiä. Neljännessä vaiheessa seulotaan hakutuloksista tietyin käytännön kriteerein parhaiten soveltuvat teokset. Hakukriteereitä voivat olla esimerkiksi kieli ja julkaisuvuosi. Viidennessä vaiheessa tarkoituksena on artikkelien ja tutkimusten laadun arviointi, jotta päädytään oman tutkimuksen kannalta parhaimpaan mahdolliseen tulokseen. Kuudennessä vaiheessa kirjoitetaan itse katsaus. Tavoitteena on luoda jokaiseen käsiteltävän artikkelin lähestymiseen samantapainen malli, jolla artikkelista poimitaan omaan tutkimukseen parhaiten soveltuvat osiot. Viimeisessä vaiheessa tehdään tulosten syntetisointi, jossa osoitetaan oman tutkimuksen tarve sekä selitetään ja kuvaillaan tarkemmin löydettyjä tuloksia. (Fink 2005, s. 3, 5.)

Tutkimuksessa suoritettiin laaja kirjallisuuskatsaus, jonka voi jakaa karkeasti kolmeen osioon: kapasiteettisuunnitteluun, optimointiin ja kiinteistönhoitoon. Näistä kolmesta aihealueesta valittiin parhaiten tähän työhön soveltuvat teokset etukäteen määriteltujen tutkimuskysymysten ja hakusanojen avulla. Suurin työ kirjallisuuden tarkastelussa oli laadukkaiden resurssien optimoinnin tutkimusten löytäminen, ja näistä löydettyistä tutkimuksista soveltuvimpien mallien ja teorioiden yhteensovittaminen tämän työn kontekstissa. Lopulta työhön valittiin kuusi parasta tutkimusta, jotka käsittelevät resurssien optimointia eri näkökulmista. Tuotannon kapasiteettisuunnittelun teorioiden perusteiden käsittely perustui laajaan aihetta käsittelevään perusteokseen kun taas palvelutuotannon kapasiteettisuunnitteluun kehitetyt mallit olivat eri teoksien osia. Kokonaisuudessa tässä tutkimuksessa käytetty kirjallisuus, erityisesti liittyen kapasiteettisuunnitteluun ja optimointiin, on tieteellisesti laadukasta ja vastaa sille asetettuja vaatimuksia. Täytyy kuitenkin huomata, että eri aihealueiden kirjallisuus poikkeaa toisistaan tieteellisen

pätevyyden osalta. Tämä johtuu esimerkiksi kiinteistönhoidon ja optimoinnin aihealueiden ja lähtökohtien erilaisuudesta.

### 3.2.3 Empiirinen osio

Tutkimuksen empiirinen osa sisältää kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella luotujen mitoitus- ja optimointimallien testaamisen käytäntöön todellisilla kiinteistöjen arvoilla. Kirjallisuuskatsauksen perusteella luotiin teoriapohja empiiristä tutkimusta varten. Mitoitus- ja optimointimallien rakentaminen on tutkimuksessa avainasemassa, sillä näiden perusteella tehdään tarvittavat laskelmat. Kiinteistönhoidon mitoitusmalli rakennetaan Excel-muotoon olemassa olevien kiinteistönhoidon aikastandardien ja teorioiden perusteella.

Empiirisen osuuden tavoitteena on tutkia matemaattisen optimointimallin avulla kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointia kuntakontekstissa esimerkkitapauksin. Tässä vaiheessa tavoitteena on vastata kolmanteen tutkimuskysymykseen; **Miten optimoinnin avulla on mahdollista optimoida koko kunnan kiinteistöverkon vaatimia kiinteistönhoidon resursseja?** Tarkoituksena on kokeilla kehitettyjen mallien toimivuutta ja sitä vastaavatko ne ylipäänsä alun perin määritettyyn tutkimusongelmaan ja – tavoitteisiin. Tässä vaiheessa tavoitteen on luoda teoreettinen optimointimalli, jonka avulla olisi mahdollista optimoida kuntien kiinteistönhoidon resursseja. Optimointimallin kehitys tapahtuu MOBO-ohjelmistossa ja se sisältää erilaisten funktioiden ja parametrien määrittelyä. Lisäksi tehdään optimoinnin parametrisointi ja muuttujien määrittely sekä tarkastellaan optimoinnin kulkua vaiheittain. Optimointityökalun valinta ja määrittelyt sekä mallin rakentaminen ovat avainasemassa tämän työn onnistumiselle ja tulosten laadun varmistamiselle.

### 3.2.4 Luotettavuus ja rajoitukset

Kvantitatiivisen tutkimuksen kyseessä ollessa, tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida tarkastelemalla sen reliabiliteettia ja validiteettia. Reliabiliteetti tarkoittaa mittaustulosten luotettavuutta tai toistettavuutta. Validiteetti taas tarkoittaa tutkimuksen pätevyyttä eli kykyä mitata juuri sitä, mitä on tarkoituskin mitata. Tutkimuksen luotettavuutta parantaa olennaisesti yksityiskohtainen kuvaus tutkimuksen toteuttamisesta ja tarkka selitys siitä millä perusteella esitettyihin tutkimustuloksiin on päädytty. (Hirsjärvi ym. 2006, s. 226–228.) Tässä työssä ja tulosten esittämisessä on pyritty mahdollisimman tarkasti selittämään jokaisessa vaiheessa mistä mikäkin lukema ja arvo on johdettu, jotta tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti pysyttäisiin parhaimman mukaan varmistamaan. Tavoitteena on ollut, että tutkimus olisi toistettavissa kenen tahansa toimesta.

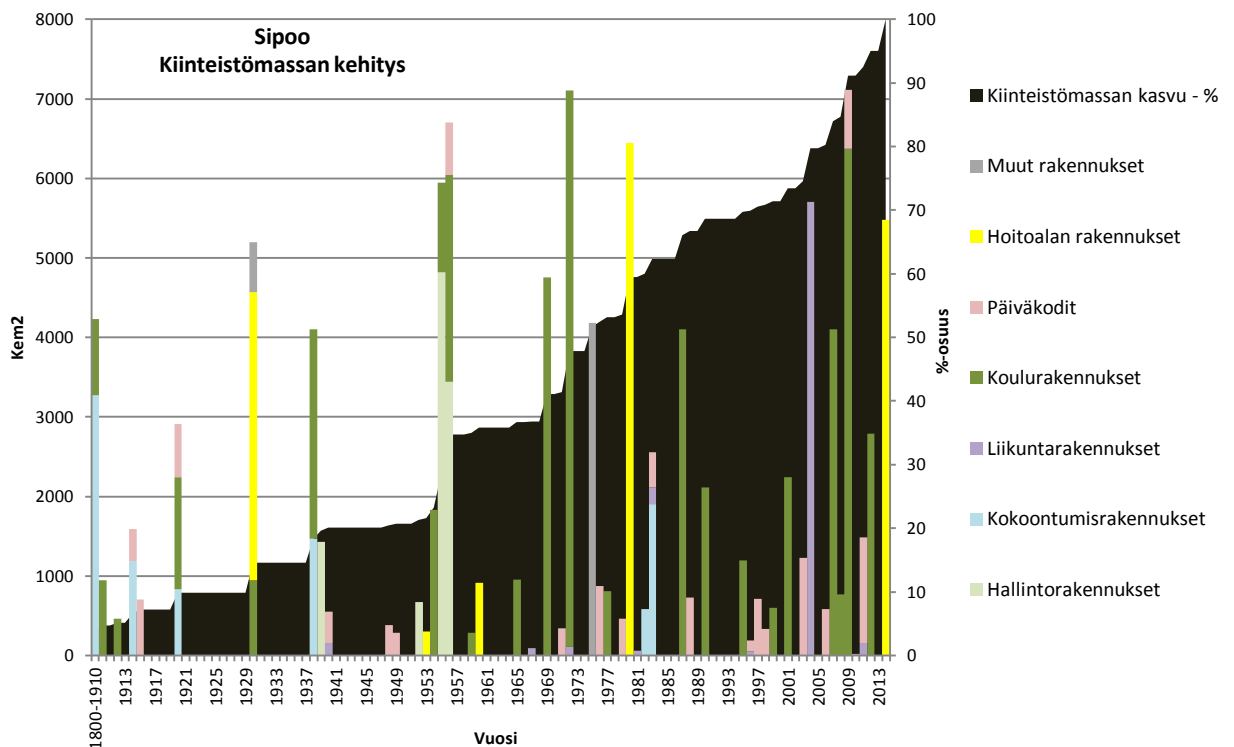
Tutkimuksen luotettavuuteen liittyvät myös uskottavuus, siirrettävyys ja riippumattomuus. Uskottavuudessa on kyse siitä, että tutkimus on suoritettu hyvän tavan mukaisesti, mutta myös siitä, että tutkijalle on välittynyt oikea käsitys haastateltavien näkemyksistä. Hyvän tutkimustavan mukaista on myös se, että haastattelukysymykset ovat ymmärrettäviä. Kysymykset pyrittiin muodostamaan mahdollisimman selkeiksi. Siirrettävyydellä tarkoitetaan sitä, että tutkijan tehtävänä on tarjota runsas kuvaus tutkitusta ympäristöstä, jonka perusteella lukija voi muodostaa käsityksensä siitä, voiko tuloksia yleistää laajemmin. Siirrettävyyden parantamiseksi tapaustutkimuksen toimintaympäristö ja käytetyt mallit pyrittiin kuvaamaan tässä työssä mahdollisimman hyvin. Riippumattomuuden varmistamiseksi tapaustutkimuksen tutkimusmenetelmät on kuvattu siten, että tutkimus on tarvittaessa toistettavissa. (Eskola & Suoranta 2008, s. 211–213.)

### 3.3 Tutkimusaineisto

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksessa käytettyjä aineistoja ja näiden taustoja. Erikssonin & Koistisen (2014) mukaan tapaustutkimuksessa monenlaiset aineistot ja aineistolähteet ovat käyttökelpoisia ja niitä on mahdollista käyttää rinnakkain. Tyypillisiä tapaustutkimuksen aineistolähteitä ovat erilaiset haastattelut, media-aineistot, tilastot, havainnointi ja osallistuva havainnointi sekä erilaiset dokumentit, kuten esitteet, kokouspöytäkirjat ja muistiinpanot. Laadullisen aineiston ohella voi siis käyttää määrällistä aineistoa, kuten tilastoja, survey-aineistoja tai aikasarja-aineistoa. Tässä tutkimuksessa on yhdistelty monia aineistoja, kuten kirjallisuutta, haastatteluja ja empiirisesti kerättyä tietoa kiinteistöistä lopullisen mallin kehittämiseen.

#### 3.3.1 Tutkimuksen kohteet ja taustat

Tutkimuksen kohteena ovat Sipoon kunnan omistuksessa olevat kiinteistöt ja näihin liittyvät kiinteistönhoidon resurssit. Optimoitavana tekijänä ovat Sipoon kunnan kiinteistökannan tarvitsemat kiinteistönhoidon resurssit. Sipoon kunnalla on yhteensä noin 100 rakennusta, jotka ovat mm. kouluja, päiväkoteja, virastorakennuksia ja asuinrakennuksia. Tässä työssä keskitytään erityisesti koulu-, päiväkoti- sekä sosiaali- ja terveysalan kiinteistöihin, sillä ne muodostavat suurimman osan kiinteistökannasta ja kiinteistönhoidon kustannuksista. Toimitilapalvelu-osasto vastaa rakennusten kunnossapidosta ja rakennuttamisesta sekä kiinteistönhoidon järjestämisestä. Sipoon kunnan omistamien rakennusten ikä- ja kuntojakauma on varsin laaja, vanhimpien rakennusten ollessa 1800-luvulta, joskin yli puolet rakennuksista on rakennettu viimeisen 40-vuoden aikana (kuva 33).



Kuva 33 Sipoon kiinteistömäärän kehitys



Tarkemmin mitoitettaviksi ja optimoitaviksi tyyppikohteiksi valittiin kuusi omaa kiinteistötyyppiään parhaiten edustavaa kiinteistöä; yksi sosiaali- ja terveysalan kiinteistö, kaksi päiväkotikiinteistöä ja kolme koulukiinteistöä (taulukko 23). Kohteet valittiin yhteistyössä Sipoon kiinteistönhoidosta vastaavien henkilöiden kanssa, jotta saatiin jokaista tyyppikiinteistöä parhaiten vastaava kiinteistö tähän työhön. Tyyppikiinteistöjen tarkoituksena oli se, että näiden tuloksien perusteella voitiin laventaa mitoitus- ja optimointitulokset vastaamaan koko Sipoon kiinteistökantaa.

**Taulukko 23** Työhön valitut tyyppikohteet

Kiinteistötyyppi	Mallikiinteistö	Rakennusvuosi
<b>SOTE</b>	Nikkilän sosiaali- ja terveysasema	2014
<b>Päiväkoti, iso</b>	Miilin päiväkot	2011
<b>Päiväkoti, pieni</b>	Metsätien päiväkot	2009
<b>Koulu, iso</b>	Sipoonlahden koulu	2009
<b>Koulu, keskikoko</b>	Leppätien koulu	2002/2012
<b>Koulu, pieni</b>	Box skola	1990

### 3.3.2 Kohdekierrokset

Lähtötietojen keräykseen tuli kiinnittää tässä työssä erityisesti huomiota, sillä kaikki tehtävät mitoitus- ja optimointilaskelmat perustuvat näihin kerättäviin lähtötietoihin. Kohdekierrokset suoritettiin huhti-toukokuussa 2015 etukäteen valituilla tyyppikiinteistöillä. Kohdekierrosten avulla kartoitettiin valittujen tyyppikiinteistöjen pinta-alat pintalajeittain sekä teknisten laitteiden määrä ja ominaisuudet. Tarkat alat laskettiin asemakuvista, ja tiedot teknisistä laitteista tarkistettiin paikan päällä sekä huoltokirjan tiedoista. Kaikkien Sipoon kunnan omistamien kiinteistöjen tiedot löytyvät Granlund Manager-huoltokirjajärjestelmästä. Tätä tietopankkia hyödynnettiin työn edetessä ja koko kiinteistöverkon kattavan mallin kehityksessä. Lisäksi lähtötietoina tarvittiin kiinteistöjen etäisyydet toisistaan, joten päädyttiin laskemaan jokaisen Sipoon kunnan omistaman kiinteistön etäisyys toisistaan sekä minuutteina että kilometreinä. Nämä etäisyydet laskettiin tarkasti karttapalvelun avulla, jotta nevastaavat todellisia matka-aikoja.

### 3.3.3 Haastattelut

Työssä tehtiin kirjallisuuskatsauksen lisäksi asiantuntijahaastatteluita. Haastatteluiden tarkoituksena oli luoda kokonaiskuva kiinteistönhoitoalan toimintatapojen selvittämiseksi. Haastatteluihin valittiin kolmen johtavan kiinteistöhoitoyrityksen kiinteistönhoidon suunnittelusta ja mitoituksesta vastaavat henkilöt. Tarkoituksena oli saada selville miten johtavat kiinteistönhoidon yritykset mitoittavat kiinteistöhoitoa ja mihin työmäärän laskenta ylipäänsä perustuu. Näin ollen saatiin arvokasta tietoa siitä, miten hyvin tässä työssä käytettävät lähtötiedot, aikastandardit ja menetelmät soveltuvat kiinteistönhoidon mitoittamiseen kunnissa. Haastattelut toteutettiin avoimina haastatteluina säilyttäen haastateltavien henkilöiden ja yritysten anonymiteetti, sillä tavoitteena oli vain saada luotua yleiskuva alan nykytilasta ja käytetyistä malleista (liite 6). Kiinteistöhoitoyritysten haastatteluissa kysyttiin seuraavia kysymyksiä:

- **Mihin kiinteistönhoidossa vaadittava henkilömäärä perustuu?**
- **Miten lasketaan kiinteistönhoidon vaatima työmäärä?**
- **Mitkä asiat ovat tärkeimmät kiinteistönhoidon mitoituksen kannalta?**
- **Miten ja millä perusteella kaluston ja henkilöstön määrä jaetaan kohteiden kesken?**
- **Miten suunnitellaan kiinteistönhoidon reitit ja kierrokset?**
- **Käytetäänkö kiinteistönhoidon työmäärän laskemiseen jotain tiettyä ohjelmistoa?**

Haastatteluissa pääpaino oli yritysten toimintamallien ja työmäärän laskemiseksi käytettävien ohjelmistojen rakenteessa ja taustoissa. Lisäksi selvitettiin kuinka paljon kiinteistöhoitoyritykset ovat tarkentaneet eri töiden suoritusajoja kokemuksiensa perusteella ja miltä osin niiden työtehtävien ajat eroavat standardiajoista. Haastatteluiden perusteella voidaan todeta, että suurimmat kiinteistöhoitoyritykset käyttävät mitoitukseen ja työmäärän laskentaan pääsääntöisesti ATOPkh-ohjelmistoa, joka on kehitetty juuri kiinteistönhoidon työmäärien laskemiseen ja kiinteistönhoidon mitoittamiseen. Yhdellä yrityksellä oli käytössään myös oma mitoitusohjelma, jonka toimintaperiaate on lähtökohtaisesti sama kuin ATOPkh-ohjelmassa. Käytetyt ohjelmistot tukeutuvat alkuperäisen KIMI-mitoituksen periaatteisiin, koska KIMI-mitoitus on selkeä ja standardina hyvin tunnettu. Mitoitusohjelmien aikamääreet ja työaikastandardit perustuvat alkuperäiseen KIMI-mitoitukseen, joita on kuitenkin tarkistettu yritysten omien kokemuseräisten tietojen mukaisesti. Haastatteluissa selvisi, että esimerkiksi talvien lumenaurauksen lähtömäärät ovat pienentyneet verrattuna alkuperäisen KIMI-mitoituksen aikaisiin talviin, vaikka kokonaissademäärä talvisin onkin kasvanut. Huomionarvoista on myös se, että kiinteistönhoidossa käytettävän kaluston ominaisuudet vastaavat hyvin pitkälti parin kymmenen vuoden takaista kalustoa, joten tältä osin aikastandardit pitävät vielä nykyäänkin hyvin paikkansa.

Haastatteluista selvisi, että tällä hetkellä yleinen ilmapiiri tukee siirtymistä kohti KiinteistöRYL:in mukaisia palvelu- ja laatukuvauksia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että määritellään jokin tietty palvelu- ja laatutaso johon kiinteistönhoidolla tulee pyrkiä. Tärkeässä roolissa kiinteistönhoidon onnistuneelle toteuttamiselle on myös asiakastarpeen ymmärrys ja asiakaslähtöinen ajattelutapa. Haastatteluissa nousi myös esille, että kiinteistönhoidossa ollaan siirtymässä tulevaisuudessa tarpeenmukaiseen hoitoon ja huoltoon. Pyrkimyksenä on päästä pois perinteisestä vuosikello ajatuksesta ja hoitaa kiinteistöjä tarpeenmukaisesti. Tarpeenmukaista kiinteistöhoitoa varten ollaan kehittämässä ja tutkimassa uusia toimintamalleja ainakin yhden toimijan osalta teollista

Internetiä hyödyntäen. Tämänlaisen kiinteistönhoitomallin tavoitteena on että vasta todellinen tarve aiheuttaa huoltotoimenpiteen.

Kokonaisuudessaan yritysten toimintamallit ja työmäärän laskemiseksi käytettävät ohjelmistot ovat hyvin yhtenäisiä. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että tässäkin diplomityössä käsitellyt mitoituksen peruseriaatteet ovat relevantteja ja työn tulokset vastaavat näiltä osin nykytilanteen vaatimuksia. Toisaalta tulee huomioda, että kiinteistönhoitoyritykset ovat tarkentaneet eri töiden suoritusajkoja kokemuksiensa perusteella ja tältä osin joidenkin tehtävien työajat saattavat vaihdella.

Kiinteistönhoitoyritysten lisäksi työhön haastateltiin Sipoon kiinteistöistä vastaavia henkilöitä, jotta saataisiin taustatietoa juuri Sipoon kiinteistönhoidon nykytilasta ja tavoitteista. Viime vuosina Sipooseen on rakennettu kuitenkin uusia kouluja ja päiväkoteja sekä sosiaali- ja terveysasema. Tästä huolimatta kokonaisuudessaan kiinteistökannan iästä johtuen osa rakennuksista vaatii paljon peruskorjauksia ja muita ylläpitäviä toimenpiteitä lähitulevaisuudessa. Aiemmin puutteellisen kiinteistönhoidon ja ylläpidon johdosta on odotettavissa erinäisiä ongelmia, jotka heijastuvat lisääntyneinä sisäilmaongelmina, putkivuotoina ja muina ongelmina rakennuksissa. Kunnan kiinteistönpidon saaminen oikeille raiteille, vaatii panostusta niin henkilöstö- kuin taloudellisiin resursseihin. Yhtenä ratkaisuna ongelmiin on kiinteistöjen salkutus ja huonokuntoisista kiinteistöistä luopuminen. Salkutuksen tavoitteena on päästä eroon vaille käyttötarkoitusta jäävistä tai jo jääneistä kiinteistöistä. Nämä toimenpiteet pienentävät osaltaan Sipoon kiinteistömassaa ja samalla vähentävät korjausvelkaa. (Lallukka 2015.)

Sipoon kunnan pidemmän aikavälin tavoitteena on vähentää kiinteistöjen lukumäärää ja hoidettavaa pinta-alaa. Jäljelle jäävät kiinteistöt olisivat isompia, tehokkaampia, laadukkaampia ja helppohoitoisempia yksiköitä. Tästä yhtenä esimerkkinä on uusi Nikkilän Sydän-koulukeskus, joka tulee poistamaan kaksi huonossa kunnossa olevaa yläastetta. Nykyiset Nikkilän yläasteet koostuvat useista erillisistä rakennuksista, joten niiden tehokkuus on huono ja ylläpito on hankalaa sekä kallista. Lisäksi Nikkilään ollaan suunnittelemassa uutta isoa päiväkotia, joka tulisi poistamaan 5-6 pientä, tehotonta ja huonokuntoista päiväkotia. Vastaavien toimenpiteiden avulla on mahdollista, että Sipoon kokonaiskorjausvelka kääntyisi laskuun aikaisintaan 2020-luvulla. (Lallukka 2015.)

Tällä hetkellä kiinteistönhoito-organisaation johtaminen on teknisen isännöitsijän vastuulla. Lisäksi teknisen isännöitsijän tehtäviin kuuluu nimikkeen mukaisten työtehtävien hoitaminen. On selvää, ettei tämänlaisella järjestelyllä voida saavuttaa parasta mahdollista lopputulosta kiinteistönhoidon kannalta. Näin ollen kiinteistönhoitopuoli vaatisi oman työnjohtajan, jotta sitä voitaisiin aidosti kehittää ja ajanmukaistaa nykyajan tarpeisiin vastaavaksi. Teknisen isännöitsijän vastuulle jäisi tässä tapauksessa vuosi- ja ylläpitokorjaukset, määräraikaistarkastukset, sisäilma-asiat sekä hallinnon ja ylläpidon kehittäminen. Lopullisena tavoitteena on nykyaikaistaa Sipoon kunnan kiinteistönhoidon organisaatio ja toimintatavat, jotta voidaan järjestää kuntalaisille viihtyisät ja toiminnalliset tilat sekä tulevaisuudessa välttyä yllättäviltä korjauksilta ja ongelmilta. (Lallukka 2015.)

## 4 Mallin muodostus ja määrittelyt

Tässä luvussa tarkastellaan optimointimallin muodostusta ja tutkimuksen kohteena olevaa kiinteistöverkkoa. Alussa tarkastellaan kehitetyn optimointimallin taustaa ja rakennetta sekä optimointiprosessin kulkua. Työkalun valinta sekä mallin rakentaminen ovat avainasemassa tämän työn onnistumiselle ja tulosten laadun varmistamiselle. Tämän jälkeen käydään tarkemmin läpi kiinteistönhoidon mitoituksen taustat ja perustelut tyyppikiinteistöjen valinnalle. Lopuksi tehdään optimoinnin parametrisointi ja muuttujien määrittely sekä tarkastellaan optimoinnin kulkua vaiheittain.

### 4.1 Optimointityökalu

Tavoitteena oli löytää ohjelma, jonka avulla olisi helposti ja kohtuullisella työmäärällä mahdollista tehdä tarvittavat optimointilaskelmat. Lisäksi yhtenä kriteerinä oli ohjelman muokattavuus vastaamaan kiinteistönhoidon erityispiirteitä. Näihin valintakriteereihin parhaiten soveltui MOBO (**M**ulti-**O**bjective **B**uilding **O**ptimization tool). MOBO on uusi optimointiohjelmisto, joka on kehitetty VTT:n ja Aallon yhteistyöhankkeena alun perin helpottamaan rakennusten energiaoptimointia. MOBO:n avulla voidaan ratkaista sekä normaaleja optimointiongelmia että monitavoiteoptimointi-ongelmia, jotka sisältävät jatkuvia ja diskreettejä muuttujia sekä erilaisia rajoitusfunktioita. MOBO toimii monien eri simulointiohjelmistojen kanssa, joten sitä voidaan hyödyntää monilla eri tieteenaloilla. Ohjelmaan on rakennettu sisään valmiiksi laaja kirjasto erityyppisiä algoritmeja, kuten evoluutio-, hybridi- ja satunnaisalgoritmeja (kuva 34). Käyttäjä voi helposti valita mieleisensä algoritmin vaivattomasti MOBO:n graafisen (GUI) käyttöliittymän avulla. Suurimpana syynä MOBO:n kehittämiseksi oli nykyisten optimointi-ohjelmistojen puutteet ja saatavilla olevien ilmaisten ohjelmistojen rajoitukset. Tarkoituksena oli kehittää geneerinen ja avoin sovellus, joka pystyy kommunikoimaan eri simulointi-ohjelmien kanssa. (Palonen ym. 2013, s. 2567.)

	PROBLEM					VARIABLES		
Algorithm	Single	Multi-	Constrained	Multi-modal	Automatic Constraint handling	Discrete	Continuous	Parallel Computing
Binary NSGA-II	X	X	X		X	X	X	X
BINARY Pareto Archive NSGA-II	X	X	X		X	X	X	X
Binary OMNI-Optimizer	X	X	X	X	X	X	X	X
Real Coded NSGA-II	X	X	X		X		X	X
Real Coded Pareto Archive NSGA-II	X	X	X		X		X	X
Real Coded OMNI-Optimizer	X	X	X	X	X		X	X
Hooke-Jeeves	X		X		X		X	
Hybrid Algorithm	X		X		X	X	X	X
Brute-Force	X	X	X	X		X	X	X
Random Search	X	X	X	X		X	X	X

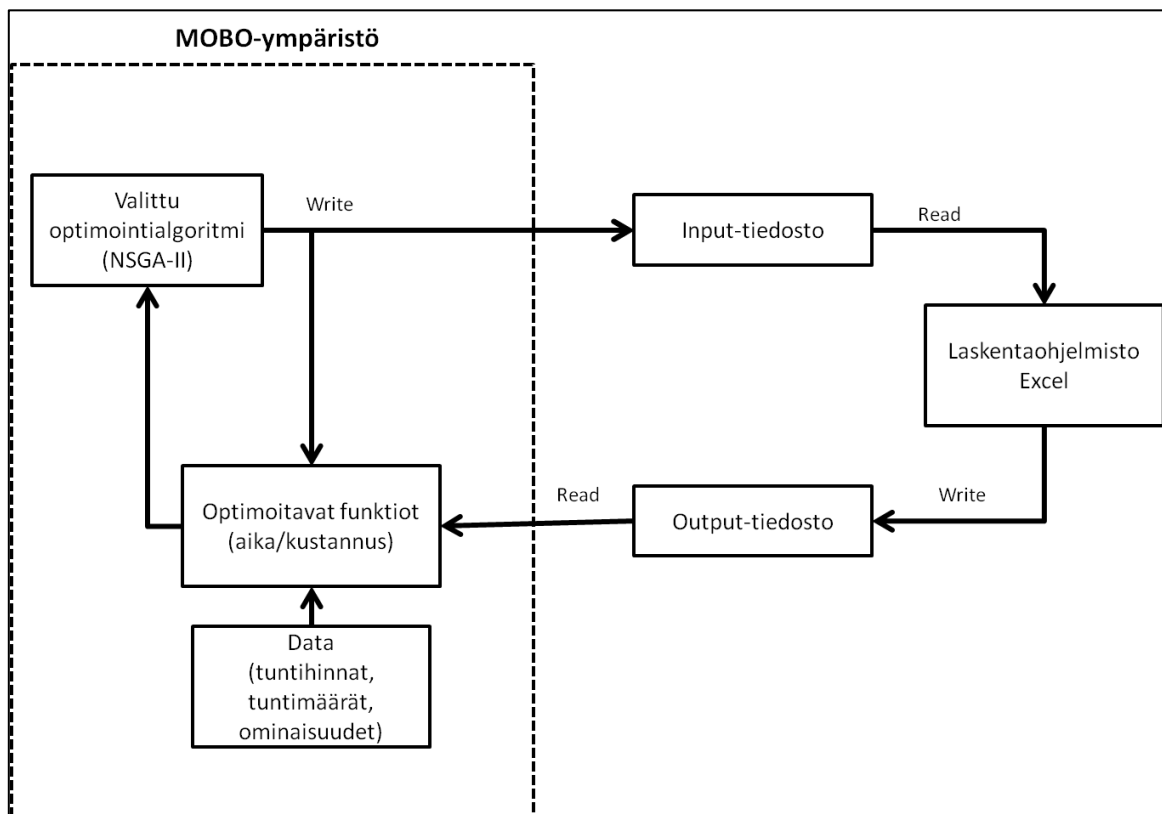
**Kuva 34** MOBO:n sisältämät algoritmit ja ominaisuudet (Palonen ym. 2013, s. 2570)

Yhtenä vahvimmin tämän ohjelmiston valintaan vaikuttavana tekijänä oli sillä saadut tulokset aiemmissa diplomitoissa. Ohjelmistoa on käytetty menestyksekkäästi Niemelän

(2015) toimesta 1960-luvun rakennusten energiatehokkuuden optimoinnissa. Tässä kyseisessä tutkimuksessa simulointityökaluna käytettiin IDA ICE -ohjelmistoa (versio 4.6.1) ja optimointityökaluna MOBO:n versiota beta 0.3b. Monitavoiteoptimoinnissa energiatehokkuuden mittarina käytettiin rakennuksen E-lukua. Optimoitavia energiakorjausvaihtoehtoja olivat rakennuksen ulkovaipan lisäeristäminen, ikkunoiden vaihto, ilmanvaihtoremontti, aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien pinta-alat sekä lämpöpumppujärjestelmien mitoitusohdot. Tässä työssä MOBO:a taas käytetään kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointiin etsien parasta mahdollista aika-kustannus-suhdetta kiinteistönhoidon järjestämiselle, joten Niemelän (2015) diplomityön tuloksista tai simulointimalleista ei ole hyötyä tämän diplomityön kannalta. Lisäksi tässä työssä simuloinnissa käytetään Exceliä, sillä IDA ICE-ohjelmisto on kehitetty vain rakennusten energiatehokkuuden optimointiin. (Niemelä 2015.)

## 4.2 Optimointimallin rakenne

Optimointimallin rakenteeseen vaikuttivat aiemmin käsiteltyjen resurssien optimointia käsitelleiden tutkimusten tulokset sekä MOBO:n ominaisuudet. Kuten aikaisemmin todettiin, ei tässä työssä voida käyttää IDA ICE-ohjelmistoa, joka on kehitetty vain rakennusten energiatehokkuuden optimointiin. Näin ollen laskentaohjelmistona käytetään Exceliä, jota on muokattu tämän optimointiongelman tarpeiden mukaisesti. Esimerkiksi kaikki tarvittavat resurssien työmäärän kuukausittaiset jakautumiset on rakennettu suoraan Exceliin.



**Kuva 35** Optimoinnin komponentit ja niiden väliset suhteet

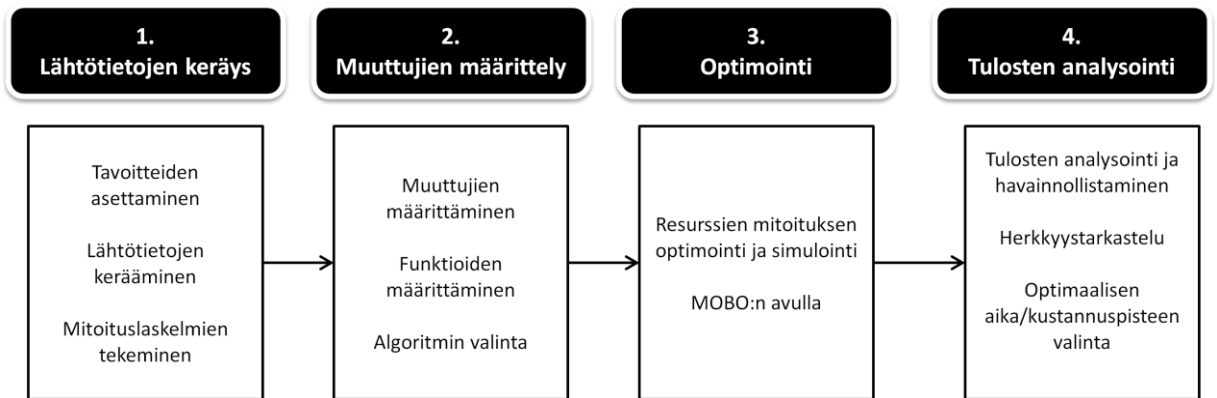
Tässä työssä käytetyt optimoinninkomponentit sekä niiden väliset suhteet on esitetty kuvassa 35. Kuvasta ilmenee simulointi- ja optimointiohjelmien riippuvuussuhteet sekä tiedostojen lukusuunnat. Optimointiohjelma, eli MOBO, kirjoittaa uudet muuttujien parametrit Excelin input-tiedostoon ja käynnistää simuloinnin. Simulointiohjelma, eli Excel, lukee tämän input-tiedoston ja ajaa simuloinnin näiden input-tiedoston parametrien mukaisesti. Simuloinnin valmistuttua Excel kirjoittaa simuloinnin tulokset erilliseen output-tiedostoon. MOBO lukee nämä tulokset output-tiedostosta ja laskee tarvittavat laskelmat riippuen optimoitavista funktioista ja niiden ominaisuuksista. Kun edellä kuvattu optimointiprosessi on suoritettu, alkaa kierros alusta ja uudet input-arvot kirjoitetaan taas Excelin input-tiedostoon. Kuvassa 36 nähdään MOBO:n vaatimat ennakoasetukset eri tiedostoille. Tiedostojen polut tulee määrittää tarkkaan, jotta ohjelma osaa hakea tekstitiedostot oikeasta paikasta.

The screenshot shows the 'Simulation' tab in the MOBO interface. It is divided into two sections: 'Continuous variables' and 'Discrete Variables'. Under 'Continuous variables', there are fields for 'Model file' (set to ':\\MOBO\\excel\_example2\\model\_input.txt'), 'Model file 2' (empty), 'Input file' (set to 'variables.txt'), 'Input file 2' (empty), 'Output file' (set to 'functions.txt'), 'Output file 2' (empty), and 'Command' (set to 'IN c:\\mobo\\excel\_example2\\run\_xls.bat'). Each field has a 'Browse' button next to it.

**Kuva 36** Optimoinnin tiedostojen alkuasetukset MOBO:ssa

### 4.3 Optimointiprosessi

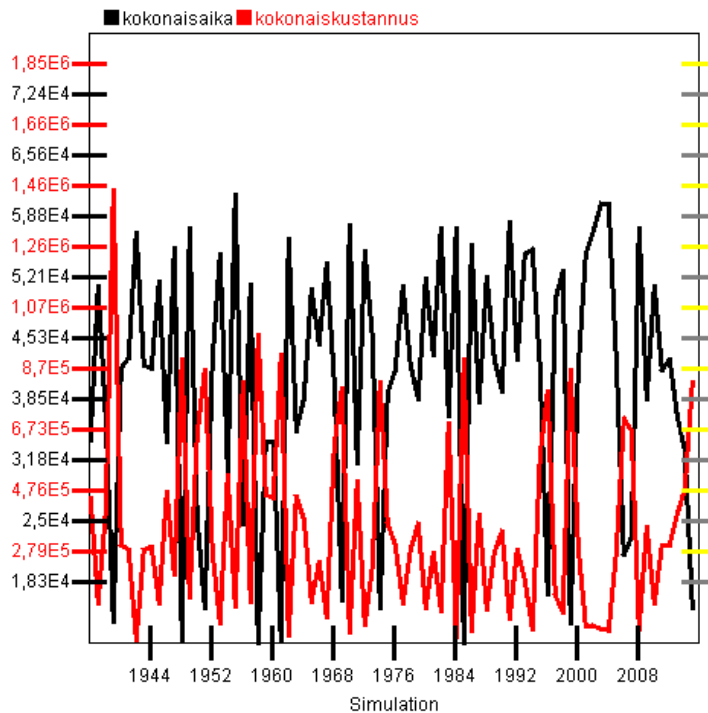
Aikaisemmin tarkasteltujen resurssien optimointia käsitelleiden tutkimusten perusteella on voitu määritellä prosessikaavion viitekehys tämän työn optimointiosiota varten. Lisäksi kiinteistönhoitoon vaikuttavat tekijät ja erityispiirteet on myös otettu huomioon prosessin luomisessa. Kehitettävälle resurssien mitoituksen optimoinnille määritetyssä prosessikaaviossa (kuva 37) on esitetty prosessiin liittyvät osakokonaisuudet ja menetelmät sekä näiden suhteet toisiinsa.



**Kuva 37** Optimoinnin prosessikaavio

Optimointiprosessi alkaa lähtötietojen keräämisellä ja tavoitteiden asettamisella. Tässä tapauksessa lähtötietojen kerääminen ja näiden pohjalta tehtävien mitoituslaskelmien tekeminen on avainasemassa koko prosessin onnistumiselle. Tarkoituksena ei ole laskea kunnan jokaisen yksittäisen kiinteistön vaatimaa kiinteistöhoidon työmenekkiä, vaan tarkasti valittujen tyyppikohteiden laskelmien avulla laventaa tämä työmenekki koko kunnan kiinteistöverkkoa vastaavaksi. Näin ollen lähtötietojen perusteellinen kerääminen ja tarkasti valittujen tyyppikohteiden avulla saavutetaan paras mahdollinen lopputulos tässä kontekstissa. Tässä vaiheessa apuna käytetään tähän tätä työtä varten kehitettyä mitoitus-excel-taulukkoa, jonka avulla voidaan nopeasti laskea tarvittavat työmenekit kullekin kohteelle ja koko kiinteistöverkolle.

Lähtötietojen keräyksen perusteella tehtyjen laskelmien tekemisen ja analysoinnin jälkeen on vuorossa tarkempi muuttujien ja funktioiden määrittely. Määrittely tapahtuu MOBO-ympäristössä ja kaikki rakennettavat funktiot tehdään kyseiseen ohjelmaan. Tässä vaiheessa on tärkeää löytää resurssien käyttöön eniten vaikuttavat tekijät, joiden perusteella optimointimallin muuttujat valitaan. Lisäksi funktioiden ja apufunktioiden kaavat ja lukumäärät tulee määrittellä tässä vaiheessa tarkasti, sillä kaikki seuraavissa vaiheissa tapahtuvat optimointilaskelmat perustuvat näihin funktioihin. Huomionarvoista tässä työssä on se, että määrittelyt tehdään sekä MOBO:ssa että Excel-ympäristössä erikseen, jotta nämä ohjelmat pystyvät kommunikoimaan keskenään.

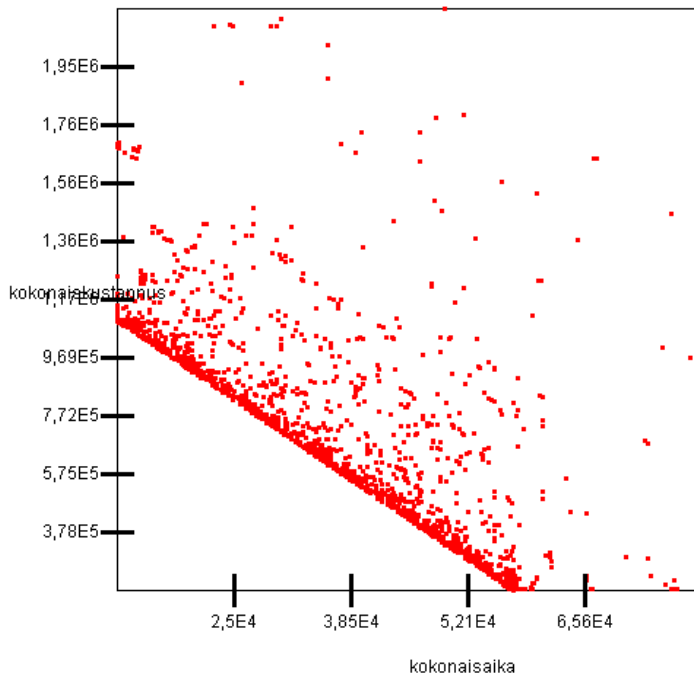


**Kuva 38** Simulointikierrosten määrän kehittyminen MOBO:ssa

Optimointivaiheessa tehdään itse laskelmat, jotka perustuvat aiemmin määritettyihin muuttujiin ja funktioihin. Optimointi tapahtuu suoraviivaisesti MOBO:n avulla perustuen näihin etukäteen määritettyihin funktioihin ja muuttujiin. Tässä vaiheessa päätöksentekijän ei tarvitse valita kuin käytettävä algoritmi sekä sukupolvien ja populaatioiden määrä, jonka jälkeen tietokone tekee laskelmat automaattisesti. Valituista sukupolvista ja populaatioista riippuen laskenta vie aikaa muutamasta minuutista tuntiin. Optimoinnin perusteella muodostuva simulointikierrosten reaaliaikainen seuranta ja arvojen muuttuminen on esitetty kuvassa 38. Kuvassa näkyy kuinka kokonaisaika ja kokonaiskustannukset, vaihtelevat eri optimointikierrosten välillä. Näin ollen päätöksentekijä näkee saman tien millaisia tuloksia optimoinnissa on syntymässä, ja voi joko päättää jatkaako vai keskeyttääkö laskennan.

Optimoinnin tuloksena syntyvä pistepilvi on esitetty kuvassa 39. Viimeisessä vaiheessa saatuja optimointituloksia jalostetaan havainnollistettavampaan ja luettavampaan muotoon sekä analysoidaan tulosten oikeellisuutta. Tuloksena syntyvistä laajoista monen tuhannen solun Excel-taulukkoista poimitaan tärkeimmät löydökset ja muutetaan ne selkeään ja luettavaan muotoon. Viimeisessä vaiheessa prosessia valitaan päätöksentekijän preferenssien mukainen optimaalinen aika/kustannuspiste tuloksena saadulta pareto-rintamalta, jossa jokainen on yhtä toisiinsa verrattuna. Saatujen tulosten vertaaminen nykytilaan on myös avainasemassa tulosten käsittelyvaiheessa.





**Kuva 39** Optimoinnin perusteella kehittyvä pistepilvi MOBO:ssa

Lisäksi viimeisessä vaiheessa tehdään herkkyystarkasteluita optimoinnissa saavutetuille tuloksille. Herkkyystarkasteluiden kautta nähdään lähtötietojen muuttamisen vaikutus lopputulokseen. Tarkasteluihin otetaan resurssien tuntihintojen sekä erilaisten kiinteistöverkon muutosten skenaarioiden vaikutus optimoinnin lopputulokseen. Resurssien tuntihintojen muutosten kautta nähdään mihin suuntaan pareto-rintama siirtyy ja kuinka paljon. Mahdollisia tulevaisuuden skenaarioita Sipoon kiinteistöverkon koostumukselle luodaan kolme erilaista. Kuten aikaisemmin todettiin, niin Sipoon kunnan pidemmän aikavälin tavoitteena on vähentää kiinteistöjen lukumäärää ja hoidettavaa pinta-alaa. Jäljelle jäävät kiinteistöt ovat isompia ja kiinteistönhoidollisesti helppohoitoisempia yksiköitä. Tavoitteena on selvittää, miten esimerkiksi pienten koulujen ja päiväkotien korvaamien isommilla yksiköillä muuttaa kiinteistönhoidon vaatimia resursseja ja kokonaiskustannuksia.

## 4.4 Optimoinnin kohteet

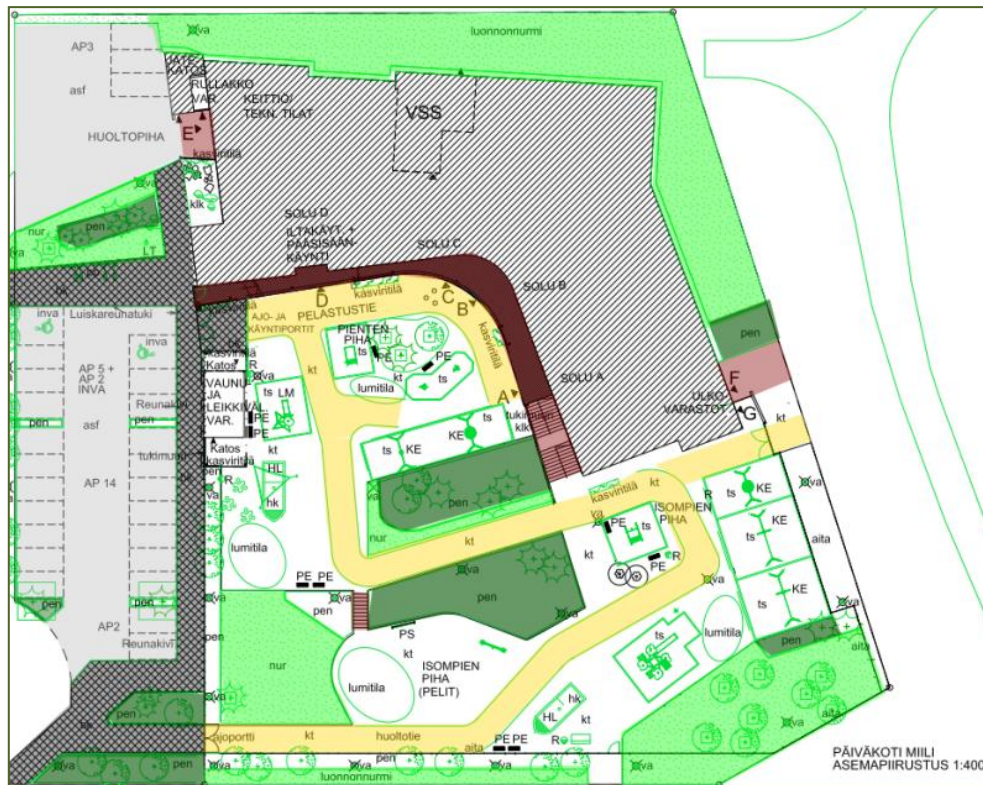
Kiinteistönhoidon mitoitukseen ja täten lopulliseen optimointiin valittiin kuusi tyyppikohdetta, joista kukin edustaa parhaiten omaa kiinteistötyyppiään. Mallikohteiksi valittiin kolme koulua, kaksi päiväkotia sekä sosiaali- ja terveysasema. Jokaiselle kohteelle tehtiin tarkka kiinteistöhoito mitoitus perustuen laskettuihin ja erikseen kartoitettuihin ulkoalueiden määriin, laatuun sekä teknisiin ominaisuuksiin, jotka on esitetty neliön tarkkuudella taulukossa 24. Lisäksi koko Sipoon kiinteistöjen vaatima työaika laskettiin näiden tyyppikiinteistöjen avulla. Keskimääräisten tyyppikiinteistöjen vaatimia työaikoja kerrottiin tyyppikiinteistöjä vastaavien kiinteistöjen määrillä. Hallinto- ja liikuntarakennukset sekä muut rakennukset lisättiin parhaiten näitä vastaaviin tyyppikiinteistöluokkiin.

**Taulukko 24** Mitoitukseen valitut tyyppikohteet ja pinta-alat

Kiinteistö	Nikkilän sosiaali- ja terveysasema	Miilin päiväkotia	Metsätien päiväkotia	Sipoonlahden koulu	Leppätien koulu	Box skola
Tyyppi	SOTE	Päiväkotia, iso	Päiväkotia, pieni	Koulu, iso	Koulu, keskikoko	Koulu, pieni
Konenurmi m <sup>2</sup>	2394	978	603	1748	1050	6048
Käsinurmi m <sup>2</sup>	470	92	126	782	116	850
Koneasfaltti m <sup>2</sup>	3887	1845	1301	4343	2801	1565
Konesora m <sup>2</sup>	0	570	920	625	0	0
Käsilumi m <sup>2</sup>	190	178	99	106	144	187
Pensaat m <sup>2</sup>	717	391	134	0	141	0
Puhtaanapito m <sup>2</sup>	3887	1845	1301	4343	2801	1565
Parkkipaikat m <sup>2</sup>	675	325	88	750	325	125
Tilavuus m <sup>3</sup>	36100	6630	2610	37000	14365	5650
Tilat lkm.	489	74	40	304	118	46

Sosiaali- ja terveysaseman tyyppikohteeksi valittiin Nikkilän sosiaali- ja terveysasema. Kyseinen sosiaali- ja terveysasema on valmistunut vuonna 2013 ja se sijaitsee Sipoon hallinnollisessa keskuksessa Nikkilässä. Nikkilän sosiaali- ja terveysasema edustaa tässä työssä modernia ja isoa terveys- ja sosiaali-alan rakennusta, joka on talotekniikaltaan sekä piha-alueiltaan monimuotoinen.

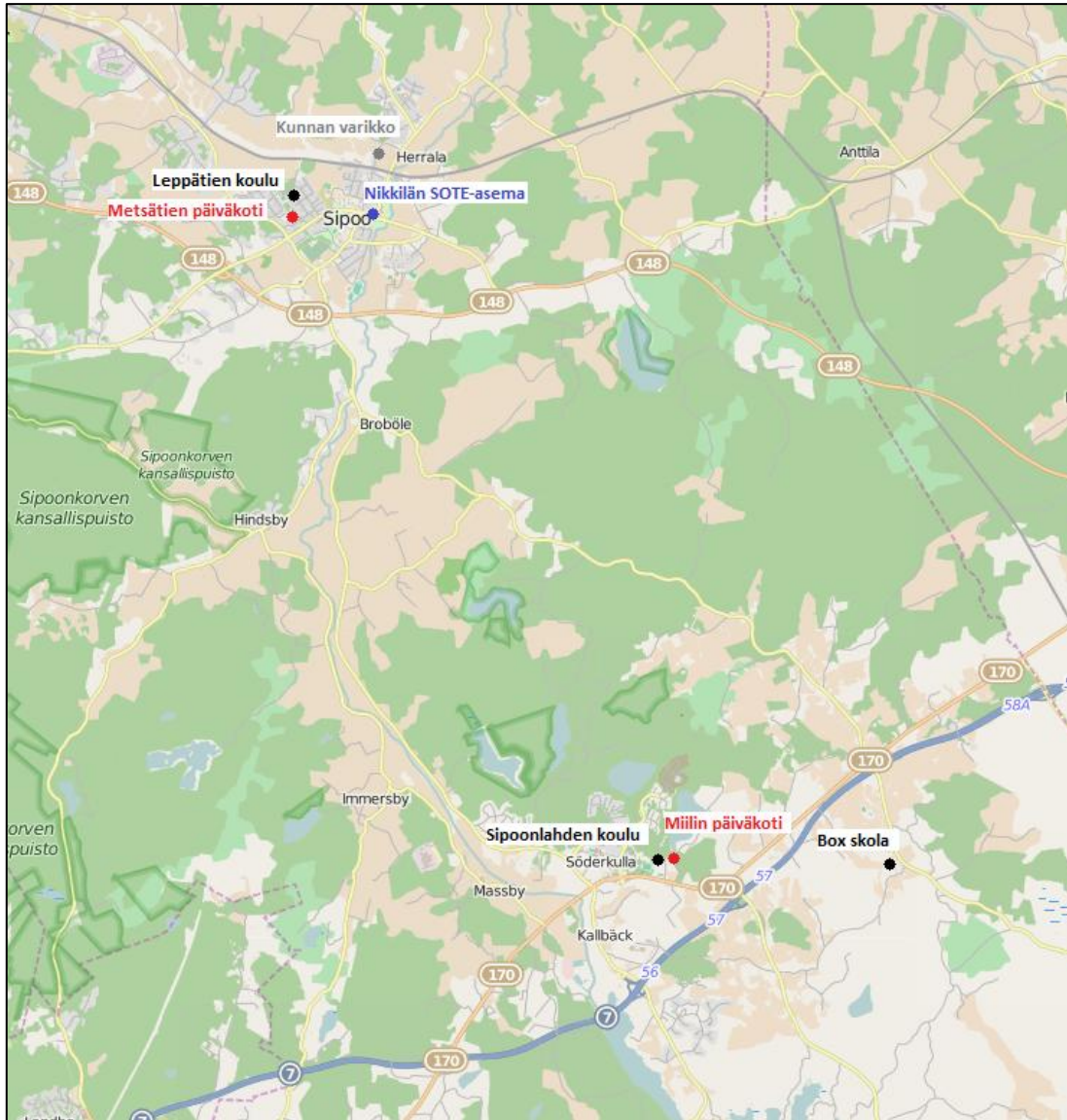
Päiväkoteja määriteltiin kaksi eri tyyppiä; pieni ja iso. Miilin päiväkotia sijaitsee Etelä-Sipoossa Söderkullan kylässä. Päiväkodin vieressä toimii Sipoonlahden koulu. Miilin päiväkotia on avattu tammikuussa 2012 kuusiosastoinen ja kaksikielinen päiväkotia. Päiväkotia tarjoaa suomen- ja ruotsinkielistä päivähoitoa 1-5-vuotiaille. Miilin päiväkotia edustaa tässä työssä isoa ja modernia päiväkotia, jolla on melko suuret ulkoalueet ja jonkun verran talotekniikka (kuva 40). Metsätien päiväkotia sijaitsee Pohjois-Sipoossa Nikkilässä ja se on rakennettu vuonna 2009. Päiväkotia edustaa tässä työssä pientä ja suhteellisen modernia päiväkotia, jolla on pienet piha-alueet sekä yksinkertainen talotekniikka.



**Kuva 40** Miilin päiväkodin asemakuva ja ulkoalueiden erottelu

Tyypikohteiksi valittiin lisäksi kolme erikokoista koulua. Sipoonlahden koulu on suhteellisen uusi ja moderni koulukeskus. Koulu aloitti toimintansa Sipoon kunnan ensimmäisenä yhtenäiskouluna elokuussa 2009. Sipoonlahden koulu edustaa tässä työssä isoa ja modernia koulua, jolla on suuret piha-alueet sekä paljon talotekniikkaa. Leppätien koulu taas on keskikokoinen ala-aste Nikkilässä. Koulu koostuu kahdesta osasta, alkuperäisestä vuonna 2002 rakennetusta osasta sekä vuonna 2012 valmistuneesta laajennusosasta. Leppätien koulu edustaa tässä työssä keskikokoista ja suhteellisen modernia koulua, jonka piha-alueet ovat keskimääräisen kokoiset. Box skola edustaa pientä kyläkoulua, jolla on koulun kokoon suhteutettuna suuret piha-alueet. Lisäksi rakennuksen talotekniikka on vaatimatonta, ja näin ollen teknisten töiden osuus pysyy suhteellisen pienenä. Koulu on rakennettu vuonna 1990 ja sitä on peruskorjattu vuosien saatossa.

Mitoitukseen valitut kohteet sijaitsevat eri puolilla Sipoota, joka kuvastaa hyvin koko Sipoon kiinteistökannan hajanaisuutta. Nikkilän sosiaali- ja terveysasema, Leppätien koulu sekä Metsätien päiväkotij sijaitsevat Pohjois-Sipoossa Nikkilän alueella. Sipoonlahden koulu, Miilin päiväkotij sekä Box skola sijaitsevat Etelä-Sipoossa Söderkullan alueella. Karttaan on merkitty kunnan varikko havainnollistamaan kiinteistönhoidon työkierroston lähtöpistettä, sillä kiinteistönhoitaja lähtee aina jostain tietystä paikasta liikkeelle, ja tämä tulee ottaa myös laskelmissa huomioon. (kuva 41).



**Kuva 41** Kohteiden sijainnit (OpenStreetMap, 2015)

Kiinteistönhoidon mitoituksen laskenta-osiota varten muodostettiin Excel-muotoinen laskentamalli, jossa jokaiselle tyyppikiinteistölle on omat määritetyt laskentaosiot. Laskenta perustuu syötettyihin kiinteistön pinta-aloihin, tiloihin ja teknisiin ominaisuuksiin. Malli käyttää hyväkseen KIMI-mitoituksessa kehitettyjä aikastandardeja sekä työkertojen määriä eri laatuluokissa (taulukko 25). Lisäksi laskentamalliin on määritetty jokaisesta kunnan omistamasta kiinteistöstä matka toiseen kiinteistöön sekä kilometreinä että minuutteina. Näin ollen mitoitusmalli mahdollistaa tarkat työmäärän laskennat perustuen oikeisiin ja mitattuihin tietoihin.

**Taulukko 25** Mitoituksessa käytettyjä lumenpoiston työkertoja (Voijola 1994)

Lumen poiston keskimääräiset työkerrat				
	Alue	Mitoitusluokitus (kerta/vuosi)		
		I	II	III
<b>Käsityö</b>	A (Etelä-Suomi)	39	31	24
	B (Keski-Suomi)	47	38	28
	C (Pohjois-Suomi)	51	41	31
<b>Konetyö</b>	A (Etelä-Suomi)	31	24	16
	B (Keski-Suomi)	42	30	19
	C (Pohjois-Suomi)	47	34	21

Kehitetty malli on geneerinen ja sitä voi soveltaa erityyppisten ja eri laatuluokissa hoidettavien kiinteistöjen kiinteistönhoidon mitoitukseen. Malli antaa myös mahdollisuuden tehdä tarkempia kiinteistönhoidon mitoituksen räätälöintejä esimerkiksi ottaen huomioon kohteen erityisominaisuudet. Jokaisen tyyppikiinteistön kiinteistönhoidon vaatima työaika laskettiin tarkasti tämän mallin avulla. Tyyppikiinteistöjen laskettujen kiinteistönhoidon vaatiminen aikojen avulla voitiin mitoitus laventaa koko Sipoon kiinteistömässälle. Näitä laskettuja kokonaistuntimääriä käytetään hyväksi lopullisen optimointimallin kehittämisessä. Aikastandardien tarkkuudesta ja yksityiskohtaisuudesta johtuen (taulukko 26) käytiin jokaisen tyyppikiinteistön mitoituslaskelmien periaatteet tarkasti läpi Sipoon kunnan kiinteistöistä vastaavien henkilöiden kanssa. Näin ollen varmistuttiin siitä, että jokaiselle kohteelle tulee tarkoituksenmukainen mitoitus perustuen oikeisiin käytössä oleviin laitteisiin ja työmenetelmiin.

**Taulukko 26** Mitoituksessa käytettyjä työmenetelmiä (Voijola 1994)

Menetelmä	Työkone	Menetelmäkohde
<b>Lrp/Ua-3</b> Lehtiroskien siirtäminen ja kasaaminen reppupuhaltimella	Reppupuhallin Stihl Br 400	Nurmikkolohko, Vapaa leikattu nurmikko, Runsaasti lehtiä
<b>Hp/Pa-5</b> Hiekan poisto työkoneella ja keräävällä harjalaitteella	Wille 445T, leveys 160cm	Hiekan poisto keräävällä harjalaitteella, tyhjennys läjityspaikalle, matka alle 100m, Runsaasti hiekkaa
<b>Lpt/Pa-2</b> Lumen poisto, polanteen tasaus ja viimeistely nivelaauralla jossa verkkoterä	Wille 445T, nivelaura, työleveys välillä 1,6/2,0m	Kuiva pakkaslumi n. 10cm, Yksittäiset kohteet alle 2000 m2, vähän esteitä, lumivallit n.1m
<b>Lpt/Pa-3</b> Lumen poisto, polanteen tasaus nivelaauralla jossa verkkoterä	Wille 445T, nivelaura, työleveys välillä 1,6/2,0m	Kuiva pakkaslumi n. 5cm, autoja n. 50% paikoista, lumivallit n.0,5m
<b>Lpt/Pa-4</b> Lumen poisto, polanteen tasaus ja viimeistely nivelaauralla jossa verkkoterä	Wille 645, nivelaura, maksimileveys 2,4m	Kuiva pakkaslumi n. 5cm, Yksittäiset kohteet alle 2000 m2, vähän esteitä, lumivallit n.0,5m, ajo pääosin kaksisuuntainen

Sipoon kiinteistöhoito noudattelee KiinteistöRYL 2009 mukaista A2-hoitoluokkaa. A2-hoitoluokan alueita ovat tavallisten toimitila-, liike- ja asuinkiinteistöjen sekä koulujen ja päiväkotien pihat paikoitusalueineen ja kulkuväylineen. Hoidon tavoitteena on monipuolisen, viihtyisän, turvallisen ja hyvin toimivan piha-alueen ylläpitäminen hyvässä kunnossa. Lisäksi kasvillisuuden, rakenteiden ja varusteiden turvallisuutta ja alueen siisteyttä tarkkaillaan säännöllisesti. Havaitut puutteet korjataan mahdollisimman pian ja

turvallisuutta vaarantavat vauriot korjataan välittömästi. Tässä hoitoluokassa alueen yleisilme voi kuitenkin vaihdella hieman hoitotoimien välillä. Mallimitoitukset kohteille tehdään tämän hoitoluokan mukaan. (Lallukka 2015; RTS 2009.)

## 4.5 Parametrisointi ja muuttujien määrittelyt

Kiinteistönhoidon parametrisoinnin tavoitteena on löytää ne merkittävät tekijät ja muuttujat, jotka vaikuttavat merkittävimmin kiinteistönhoidon resurssien käyttöön. Näitä tekijöitä ja muuttujia käytetään hyväksi optimointimallin kehittämisessä. Työssä selvisi, että merkittävimpiä muuttujia työmäärän laskemisen kannalta ovat eri ulkoalueiden pinta-alat ja -lajit. Erityisesti lumialueiden koko vaikuttaa kokonaismitoitukseen merkittävästi. Lisäksi rakennusten tekniikalla ja tekniikan monimutkaisuudella on vaikutusta työmäärään. Siirtymät otettiin mukaan laskentaan, sillä kohteesta riippuen siirtymä-aika vie vuoden kokonaistyoajasta ison osan.

Muuttujien valintaan vaikuttavat kiinteistöjen ja kiinteistönhoitotyön luonne sekä sisältö. Kuten aikaisemmin todettiin, on ulkoalueiden määrillä ja laaduilla suuri vaikutus kiinteistönhoidon resurssien käyttöön. Tässä optimointimallissa otetaan huomioon yhteensä neljä eri pinta-alalajia, ja jokaiselle lajille määritetään ennakkoon alat neliöinä. Tarkasteltavia alueita tässä mallissa ovat:

1. Lumikonealue (m<sup>2</sup>)
2. Nurmikonealue (m<sup>2</sup>)
3. Puhtaanapitoalue (m<sup>2</sup>)
4. Käsilumialue (m<sup>2</sup>)

Kiinteistönhoidon resursseja malliin otettiin mukaan yhteensä neljä todellisuutta parhaiten kuvaavaa resurssia. Kehitettävään optimointimalliin otettiin kiinteistönhoitotyön tutkimusten sekä asiantuntijahaastatteluiden perusteella neljä eri resurssityyppiä, jotka vastaavat suurilta osin todellisuudessa esiintyviä kiinteistönhoidon resursseja. Jokaiselle resurssille määritetään erikseen tuntihinta ja eri alueiden hoidon suorittamiseen kuluva aika. Tässä työssä on tarkoituksena hakea optimaalista resurssiyhdistelmää ottaen huomioon resurssien ominaisuudet ja kustannukset sekä töiden jakautumisen kuukausittain. Huomionarvoista töiden jakautumisessa on se, että lumitöitä voidaan tehdä vain talvikuukausina (marraskuu-maaliskuu) ja kesätöitä muina aikoina (huhtikuu-lokakuu). Tarkasteltavat resurssit ja niiden ominaisuudet on esitetty tarkemmin taulukossa 27.



**Taulukko 27** Optimointimallin resurssi- ja tehtävälajit

Tehtävälaji	Resurssilaji			
	Kone 1	Kone 2	Käsi 1	Käsi 2
<b>Lumialue</b>	x	-	x	x
<b>Nurmialue</b>	-	x	x	x
<b>Puhtaanapitoalue</b>	x	-	x	-
<b>Lumikäsiäalue</b>	-	-	x	-
<b>Tekniset työt</b>	-	-	-	x
<b>Siirtymät</b>	-	-	x	x

Lumikonealueen hoito on tarkoitettu ensisijaisesti resurssille Kone 1. Tämä resurssi vastaa käytännössä lumikonetta (esim. Wille 445T+nivelaura 1,6-2,0m). Tässä mallissa tämän alueen voi hoitaa myös käsin, jolloin tehtävään kuluva aika kasvaa merkittävästi, mutta vastavuoroisesti tuntikustannukset laskevat. Nurmikonealueen hoito taas on tarkoitettu ensisijaisesti resurssille Kone 2, joka vastaa käytännössä päältä ajettavaa ruohonleikkuria. Lisäksi nurmikonealueen voi hoitaa käsiresurssit, jolloin alueen hoitoon kuluva aika kasvaa, mutta tuntihinta vastaavasti laskee. Puhtaanapitoalue on puhtaana pidettävän pihalueen pinta-ala. Tässä mallissa on oletettu, että sama alue voidaan hoitaa sekä koneellisesti (esim. Wille 445T+keräävä harjalaite) että käsityönä.

Tässä mallissa oletetaan, että kiinteistönhoitajilla on kaksi eri osaamistasoa (Käsi 1 ja Käsi 2), joka vaikuttaa heidän kykyynsä suoriutua kyseisistä tehtävistä. Käsialue on alue, jota ei voi hoitaa koneella sen ominaisuuksista johtuen (esteet, käytävien kapeus yms.). Näiden alueiden hoito on suhteellisesti hitaampaa kuin konealueiden. Tässä mallissa on oletettu, että käsialueen hoitaa vain resurssi Käsi 1. Lisäksi tehtävälajina ovat tekniset työt, jotka sisältävät monimutkaisemmat tekniset suoritteet esimerkiksi suodattimien vaihdot ja IV-koneiden huollot. Tekniset työt voi suorittaa vain osaavampi, mutta samalla kalliimpi resurssi Käsi 2.

Aikamenekit kussakin laatuluokassa laskettiin etukäteen käyttäen kiinteistönhoidon mitoituskehyksen tehtyä Excel-muotoista laskentapohjaa. Lukuina käytettiin laskennallista Sipoon kaikkien kiinteistöjen vaatimia työmenekkejä tunteina. Optimoinnissa käytetyt arvot saatiin laventamalla tyyppikiinteistöistä tehtyjä tarkkoja mitoituslaskelmia (taulukko 28). Siirtymät laskettiin siten, että määritettiin etukäteen kunnan varikolta aika jokaiseen kunnan omistamaan kiinteistöön. Tätä kokonaisaikaa on kerrottu laatuluokan mukaan siten, että III-luokassa oletetaan kiinteistöllä käytävän 3 kertaa viikossa, II-laatuluokassa 4 kertaa viikossa ja I-laatuluokassa 5 kertaa viikossa. Tästä on johdettu suoraan kokonaiskilometrimäärään kuluva aika koko kiinteistöverkolle laatuluokittain. Siirtymien tuntihinnat otetaan käsityöresurssien (käsi1 ja käsi2) tuntihintojen keskiarvona.

**Taulukko 28** Optimoinnissa käytetyt resurssien tuntihinnat ja aikamenekit

Resurssi		Kone 1			Kone 2			Käsi 1			Käsi 2		
Tuntihinta		80€/h			40€/h			20€/h			30€/h		
Laatuluokka		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Lumi	130000 m <sup>2</sup>	2500h	1900h	1300h	-	-	-	52000h	39000h	26000h	52000h	39000h	26000h
Nurmi	110000 m <sup>2</sup>	-	-	-	1700h	1300h	1050h	7700h	6600h	5500h	7700h	6600h	5500h
Puhtaana-pito	100000 m <sup>2</sup>	8300h	4170h	2100h	-	-	-	28500h	12900h	6500h	-	-	-
Käsilumi	7500 m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	3000h	2250h	1500h	-	-	-
Tekniset	6000 h	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6000h	6000h	6000h
Siirtymät	410 km	-	-	-	-	-	-	5700h	4500h	3400h	5700h	4500h	3400h

## 4.6 Optimoinnin vaiheet

Seuraavassa käydään läpi optimointia varten kehitetty optimointimalli sekä laskennan periaatteet. Tarkasteltavana kohteena on koko Sipoon kiinteistöverkon vaatima kiinteistönhoidon resurssimäärä. Sipoon kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnissa käytettiin aikaisemmin tässä tutkimuksessa esiteltyä MOBO-optimointityökalua. Optimointimenetelmäksi valittiin monitavoiteoptimointi ja optimointialgoritmiksi geneettisiin algoritmeihin lukeutuva NSGA-II (Nondominated sorting genetic algorithm). Mallissa on käytetty sekä jatkuvia että diskreettejä muuttujia. Optimoitavana kohteena on kiinteistönhoidon resurssien aika-kustannus-suhde.

Continuous variables		Discrete Variables		Input Functions	Functions	Algorithm	Simulation
Add variable	Delete variable	Modify variable					
Name	Min	Max	Delimiter	Function		Step	
x1	0.0	1900.0	%x1%			1.0	
x2	0.0	1300.0	%x2%			1.0	
x3	0.0	4170.0	%x3%			1.0	
x4	0.0	6600.0	%x4%	6600-((6600/1300)*x2)		1.0	
x5	0.0	39000.0	%x5%	39000-((39000/1900)*x1)		1.0	
x6	0.0	12900.0	%x6%	12900-((12900/4170)*x3)		1.0	
x7	0.0	6600.0	%x7%	6600-x4		1.0	
x8	0.0	39000.0	%x8%	39000-x5		1.0	

**Kuva 42** Optimointimallissa käytetyt jatkuvat muuttujat laatuluokassa II

Jatkuvia muuttujia mallissa on yhteensä kahdeksan (kuva 42) ja ne kuvaavat eri laatuluokissa tietyn pinta-alalajin hoitoon kuluvaan aikaan. Muuttujien arvot vaikuttavat samaa työaluetta hoitavien muuttujien arvoihin. Esimerkiksi lumikonealueen voi hoitaa joko koneella tai käsityönä. Toisaalta mallissa on rajoituksena käsitöiden väliset suhteet, sillä malli ottaa huomioon vain toisen käsityömenetelmän kerrallaan. MOBO-suorittaa



optimointilaskelmat käyttäen hyväksi erikseen määritettyä Excel-tiedostoa. Tähän Excel-tiedostoon on määritetty jokaiselle muuttujalle vuosityöajan jakautuminen kuukausittain. Tämän määrittelyn ansiosta lumitöiden kokonaisajat jakaantuvat vain talvikuukausille ja vihertöiden kesäkuukausille. Taulukossa 29 on esitetty tarkemmat muuttujien ominaisuudet.

**Taulukko 29** Jatkuvien muuttujien selitykset

Muuttuja	Resurssi	Kohde	Yksikkö
x1	kone 1	lumi (konealue)	h
x2	kone 2	nurmi (konealue)	h
x3	kone 1	puhtaanapito	h
x4	käsi 1	nurmi (konealue)	h
x5	käsi 1	lumi (konealue)	h
x6	käsi 1	puhtaanapito	h
x7	käsi 2	nurmi (konealue)	h
x8	käsi 2	lumi (konealue)	h
x9	käsi 2	tekniset työt	h
x10	käsi 1	lumi (käsialue)	h

Optimointimallissa on käytetty jatkuvien muuttujien lisäksi diskreettejä muuttujia, joiden arvot pysyvät laskennan aikana samoina. Diskreettejä muuttujia on yhteensä kuusi; teknisten töiden tuntimäärä, resurssien tuntikustannukset sekä siirtymiin kuluva aika (kuva 43). Teknisiin töihin vuodessa kuluva aika (x9) ei muutu laatuluokista riippuen, joten sen arvo on aina sama. Lisäksi resurssien kustannukset (k1, k2, k3, k4) ovat jokaiselle resurssille samat laatuluokista riippumatta. Siirtymiin kuluva aika (s1) taas muuttuu laatuluokkien mukaan, mutta on kiinteä laatuluokan sisällä.

Continuous variables		Discrete Variables	Input Functions	Functions	Algo
	Add variable	Delete variable	Modify variable		
Name	Values	Delimiter			
x9	6000.0	%x9%			
s1	4500	%s1%			
k1	80.0	%k1%			
k2	40.0	%k2%			
k3	20.0	%k3%			
k4	30.0	%k4%			
x10	2250	%x10%			

**Kuva 43** Optimointimallissa käytetyt diskreetit muuttujat laatuluokassa II

Ohjelmaan määritellyt funktiot laskevat optimoitavia arvoja käyttäen hyväksi jatkuvia ja diskreettejä muuttujia. Tässä optimointimallissa on käytetty apufunktioita (Other), joiden etukäteen laskemat arvot soveltuvat vasta optimoitaviin kohdefunktioihin (Min). Apufunktiot laskevat sekä käytettyä aikaa, että kustannuksia resursseittain. Tämä optimointiongelma sisältää yli 130 apufunktiota, jotka on kaikki jaettu kuukausittain. Lopuksi optimoitavat kohdefunktiot ”kokonaisaika” ja ”kokonaiskustannukset” laskevat optimoitavat arvot (kuva 44).

Continuous variables	Discrete Variables	Input Functions	Functions	Algorithm	Simulation
2ea	Other		2e1+2e2+2e3+2e4+2e5+2e6+2e7+2e8+2e9+2e10+...		
2f1	Other	tammi62=			
2f2	Other	helmi62=			
2f3	Other	maalis62=			
2f4	Other	huhti62=			
2f5	Other	touko62=			
2f6	Other	kesa62=			
2f7	Other	heina62=			
2f8	Other	elo62=			
2f9	Other	syys62=			
2f10	Other	loka62=			
2f11	Other	marras62=			
2f12	Other	joulu62=			
2fa	Other		2f1+2f2+2f3+2f4+2f5+2f6+2f7+2f8+2f9+2f10+2f11+2...		
kk1	Other		x1*k1		
kk2	Other		x2*k2		
kk3	Other		x3*k1		
kk4	Other		x4*k3		
kk5	Other		x5*k3		
kk6	Other		x6*k3		
kk7	Other		x7*k4		
kk8	Other		x8*k4		
kk9	Other		x9*k4		
kk10	Other		s1*((k4+k3)/2)		
kokonaiskustannus	Min		kk1+kk2+kk3+kk4+kk5+kk6+kk7+kk8+kk9+kk10+kk11		
kokonaisaika	Min		1aa+1ba+1ca+1da+2aa+2ba+2ca+2da+x9+2fa+x10		
kk11	Other		x10*k3		

**Kuva 44** Optimointimallissa käytettyjä funktioita

Itse laskenta tapahtuu käyttäen hyväksi Pareto archive NSGA-II-algoritmia, joka on yksi A posteriori-menetelmistä. Kyseinen algoritmi on evoluutioon perustuva monitavoiteoptimointi-algoritmi. Ennen varsinaista optimoinnin ja laskennan aloittamista tulee määrittää populaation, sukupolvien, mutaatio-todennäköisyyden sekä crossover-todennäköisyyden arvot (kuva 45). Näiden arvojen määrittäminen vaikuttaa ratkaisevasti lopputulokseen ja tulosten tarkkuuteen. Mitä useampia laskentakierroksia valitaan tehtäväksi, sitä tarkempia tuloksia saavutetaan. Tämän optimointimallin laskennassa käytettiin ohjelman suosittamia arvoja, jotka antavat parhaan mahdollisen lopputuloksen tässä kontekstissa.

Input Functions	Functions	Algorithm	Simulation
Continuous variables		Discrete Variables	
Algorithm		Pareto archive NSGA-II	
Population Size (hint: 16)		16	
Generations (hint: 126)		126	
Mutation Probability (hint: 0.0125)		0.0125	
Crossover Probability (hint: 0.9)		0.9	

**Kuva 45** Optimointimallin algoritmin ja asetusten määrittely

## 5 Tulokset

Tässä kappaleessa tarkastellaan saavutettuja empiirisen tutkimuksen tuloksia sekä mitoituksessa että optimoinnissa. Aluksi käydään läpi tyyppikiinteistöjen mitoituksen tulokset ja niihin vaikuttaneet tekijät. Tyyppikiinteistöille laskettiin tarkat kiinteistönhoidon mitoituslaskelmat perustuen KIMI-mitoitukseen. Lopuksi koko Sipoon kiinteistömassan vaatima mitoitus laskettiin tyyppikiinteistöjen avulla. Saatuja tuloksia hyödynnettiin optimoinnissa ja lopullisen optimointimallin luomisessa. Näiden tulosten perusteella on muodostettu koko Sipoon kiinteistöverkon optimointimalli, joka käydään läpi tulosten seuraavassa vaiheessa. Herkkyystarkasteluja tehdään saavutetuista optimoinnin tuloksista. Herkkyystarkastelujen tavoitteena on saada selville eniten tuloksiin vaikuttavat muuttujat ja tekijät. Lisäksi tarkastelussa selvitetään miten kiinteistöverkon rakenteen muutokset vaikuttavat tuloksiin ja validoidaan mallin tulokset.

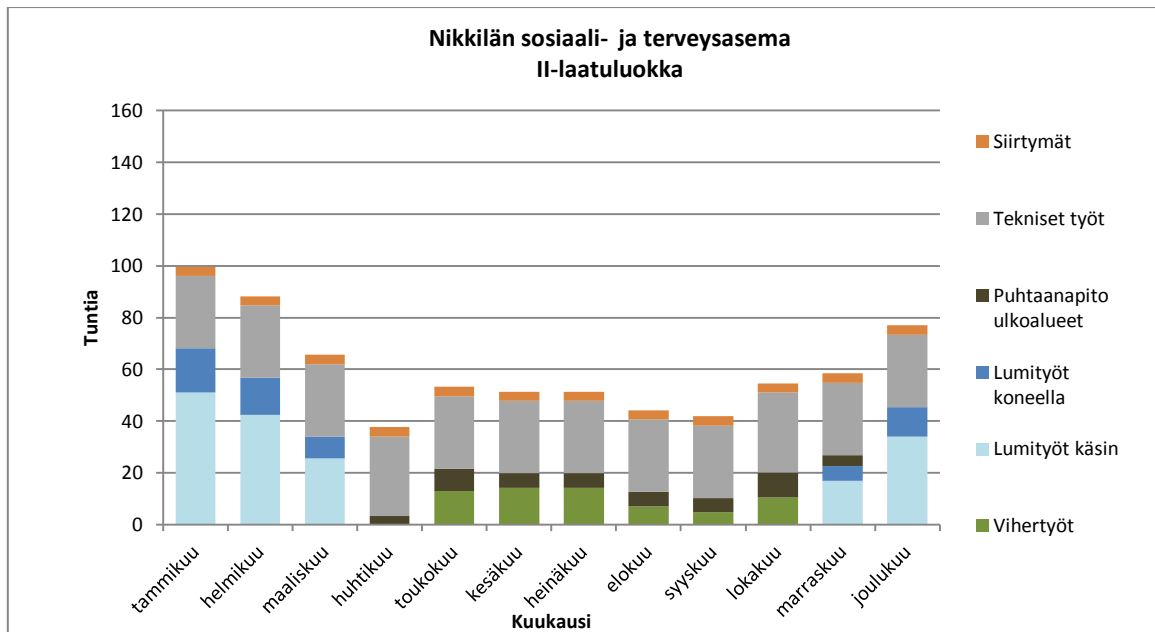
### 5.1 Tyyppikiinteistöt ja mitoitusmallit

Mitoitus laskettiin kullekin tyyppikiinteistölle kolmessa eri hoitoluokassa. Saatujen tulosten perusteella selvisi, että kohteiden ominaisuudet vaikuttivat merkittävästi kiinteistönhoidon työmenekin vuosittaiseen määrään ja jakautumiseen. Kohteiden ulkoalueiden laadulla ja koolla oli suurimmat vaikutukset kokonaismitoitukseen lumi- ja vihertöiden kautta. Taulukossa 30 on esitetty tyyppikiinteistöjen mitoitus tulokset lisättynä siirtymillä (5 kertaa viikossa) sekä organisaatioapuaajalla (10 %). Organisaatioapuaika on menetelmiin kuulumatonta, mutta silti työaikaan kuuluvaa välttämätöntä aikaa. Organisaatioapuaikaan voidaan katsoa kuuluvaksi neuvottelut, hankinnat, koulutus, suunnittelu, luottamustehtävät, työvälineiden huolto ym. (Voijola, 1994a, s. 29). Seuraavassa on esitetty jokaisen tyyppikiinteistön perustiedot ja työmäärän tarkka jakautuminen vuosittain KIMI-laatulokassa II.

**Taulukko 30** Tyyppikiinteistöjen mitoitus tulokset kolmessa laatuluokassa

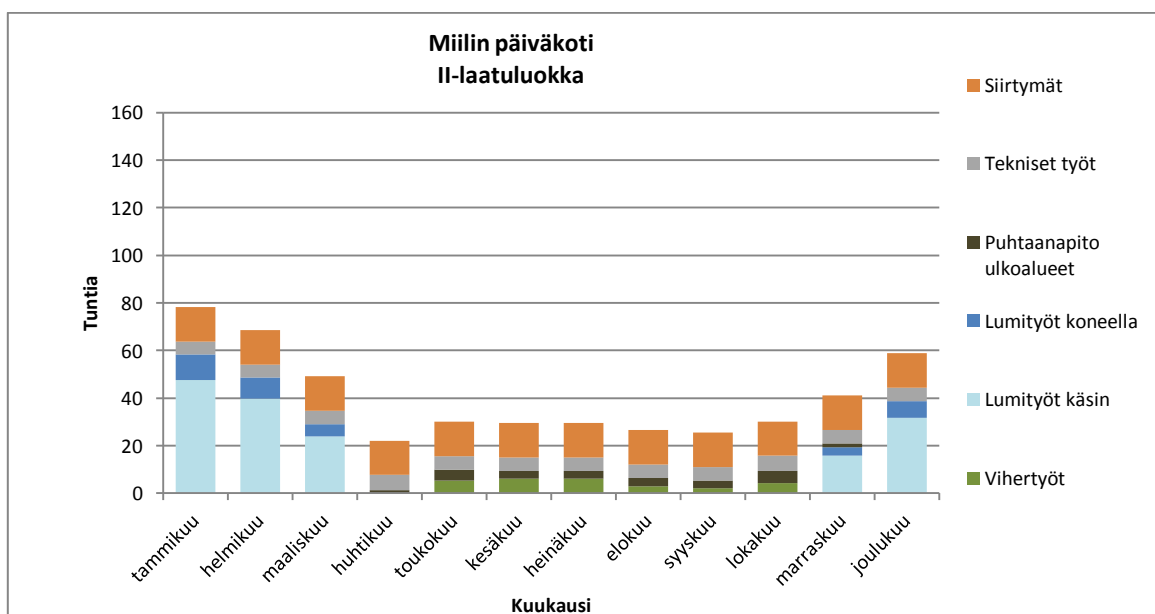
tuntia/vuosi	Laatuluokka		
	I	II	III
Nikkilän Sosiaali- ja terveysasema	875	827	803
Miilin päiväkot	563	543	536
Metsätien päiväkot	326	309	299
Sipoonlahden koulu	986	932	896
Leppätien koulu	496	472	461
Box skola	726	647	615

Isoa terveysasemaa edustavan Nikkilän sosiaali- ja terveysaseman mitoituksen tuloksista huomataan, että teknisten laitteiden määrä vaikuttaa voimakkaasti koko vuoden työmäärän mitoittamiseen (kuva 46). Kiinteistön sijainti lähellä Sipoon hallinnollista keskusta ja kunnan varikkoa pitävät siirtymiin kuluvan ajan suhteellisen alhaisena.



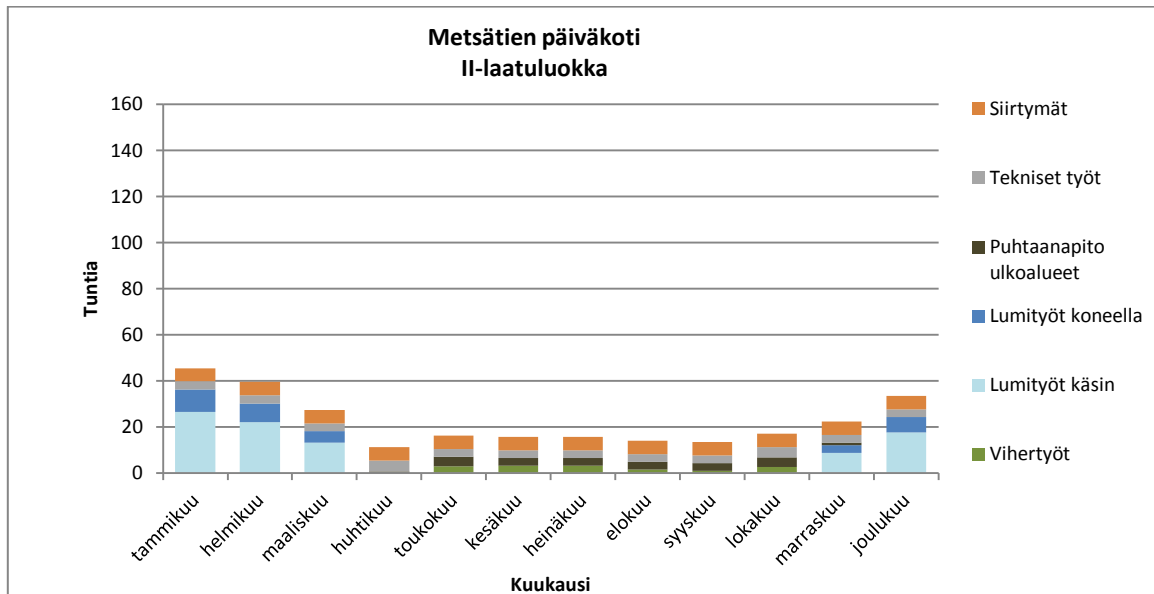
**Kuva 46** Nikkilän SOTE-aseman tuntimäärät kuukausittain laatuokassa II

Miilin päiväkodin mitoituksen tuloksissa huomionarvoista on sijainnista johtuva siirtymien vaikutus kokonaismitoitukseen (kuva 47). Lisäksi rakennuksen ja kiinteistön suuri koko päiväkodiksi antavat koko vuoden työmäärästä melko suuren esimerkiksi verrattuna pieniin päiväkoteihin.



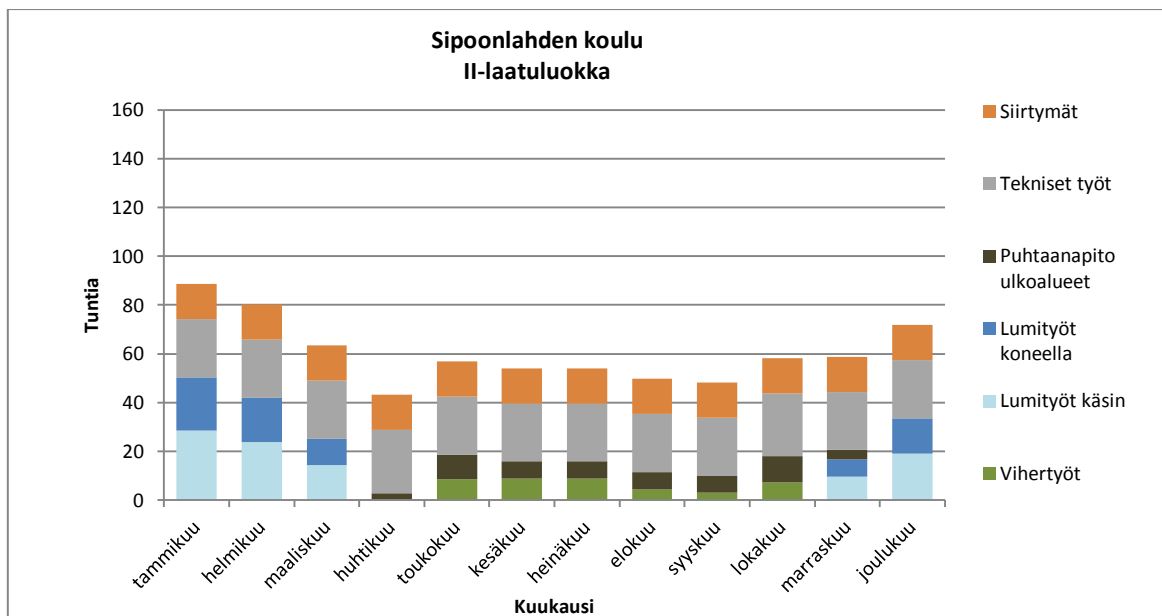
**Kuva 47** Miilin päiväkodin tuntimäärät kuukausittain laatuokassa II

Metsätien päiväkodin mitoituksessa leimaa antavaa on kohteen sijainti ja ominaisuudet, jotka pitävät tarvittavan työmenekin alhaisena kaikissa lajeissa (kuva 48). Tämänlainen tulos on odotettu pienessä ja vähän tekniikkaa sisältävässä päiväkodissa.



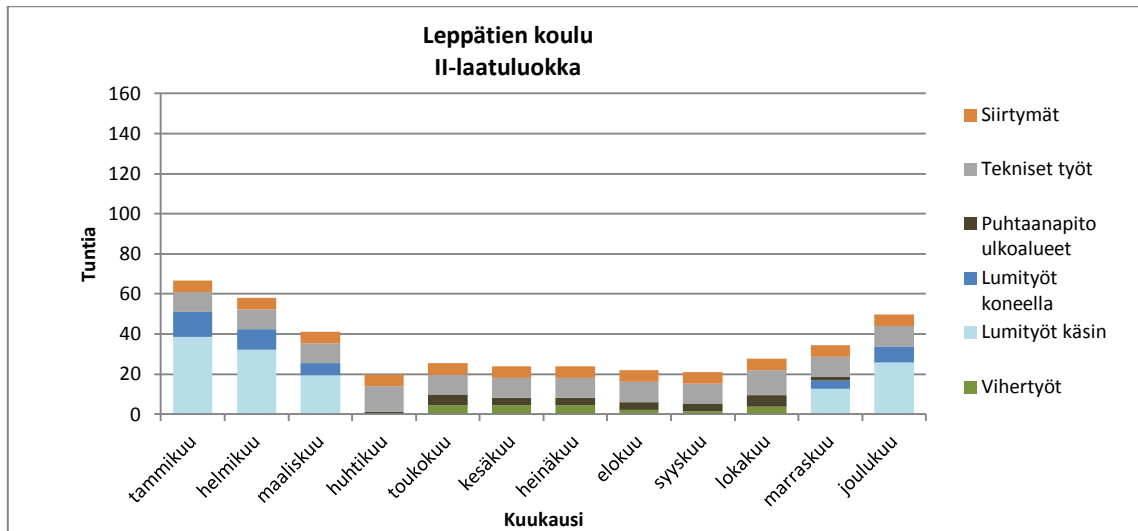
**Kuva 48** Metsätien päiväkodin tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II

Sipoonlahden koulun suuret piha-alueet sekä runsas talotekniikka vaikuttavat suoraan kohteen koko vuoden työmäärän tasoon. Näiden ominaisuuksien lisäksi mitoituksessa näkyy selvästi kohteen kaukainen sijainti, joka nostaa siirtymien määrän suureksi (kuva 49).



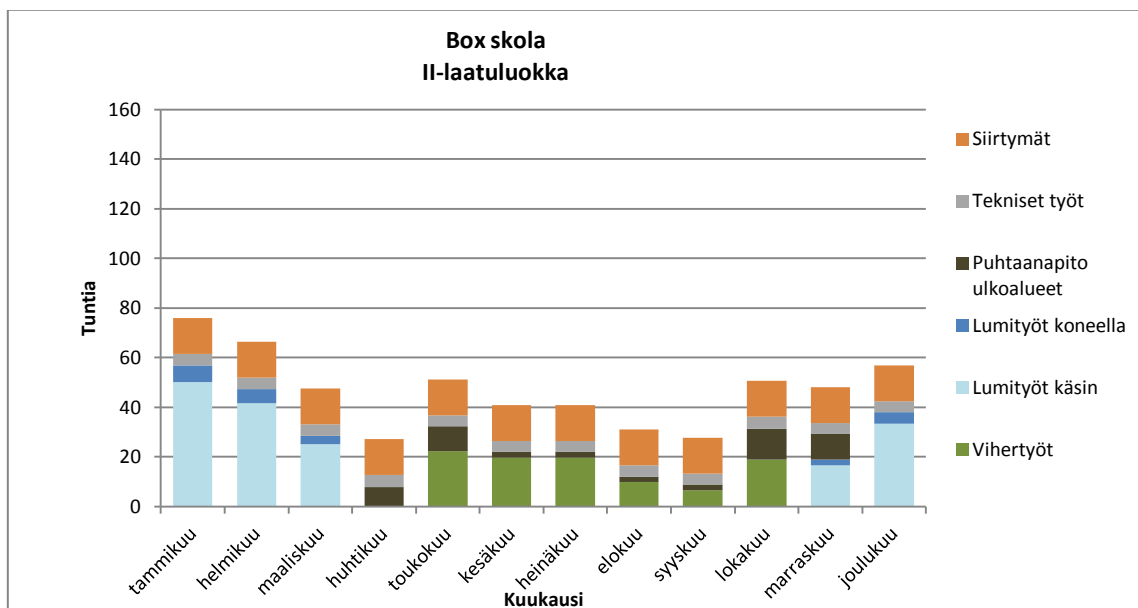
**Kuva 49** Sipoonlahden koulun tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II

Leppätien koulun sijainti, suhteellisen pienet piha-alueet sekä tavanomainen talotekniikka pitävät koko vuoden työmäärän suhteellisen pienenä. Näin ollen mitoituksen tuloksissa mikään yksittäinen alue ei nouse suuremmin esille. (kuva 50).



**Kuva 50** Leppätien koulun tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II

Box skolan mitoituksen tuloksissa näkyy hyvin kohteen sijainti ja suurien viheralueiden vaikutus (kuva 51). Nurmitöitä on itse asiassa enemmän kuin missään muussa tyyppikiinteistössä, vaikka itse rakennus on pienin ja vaatimattomin.

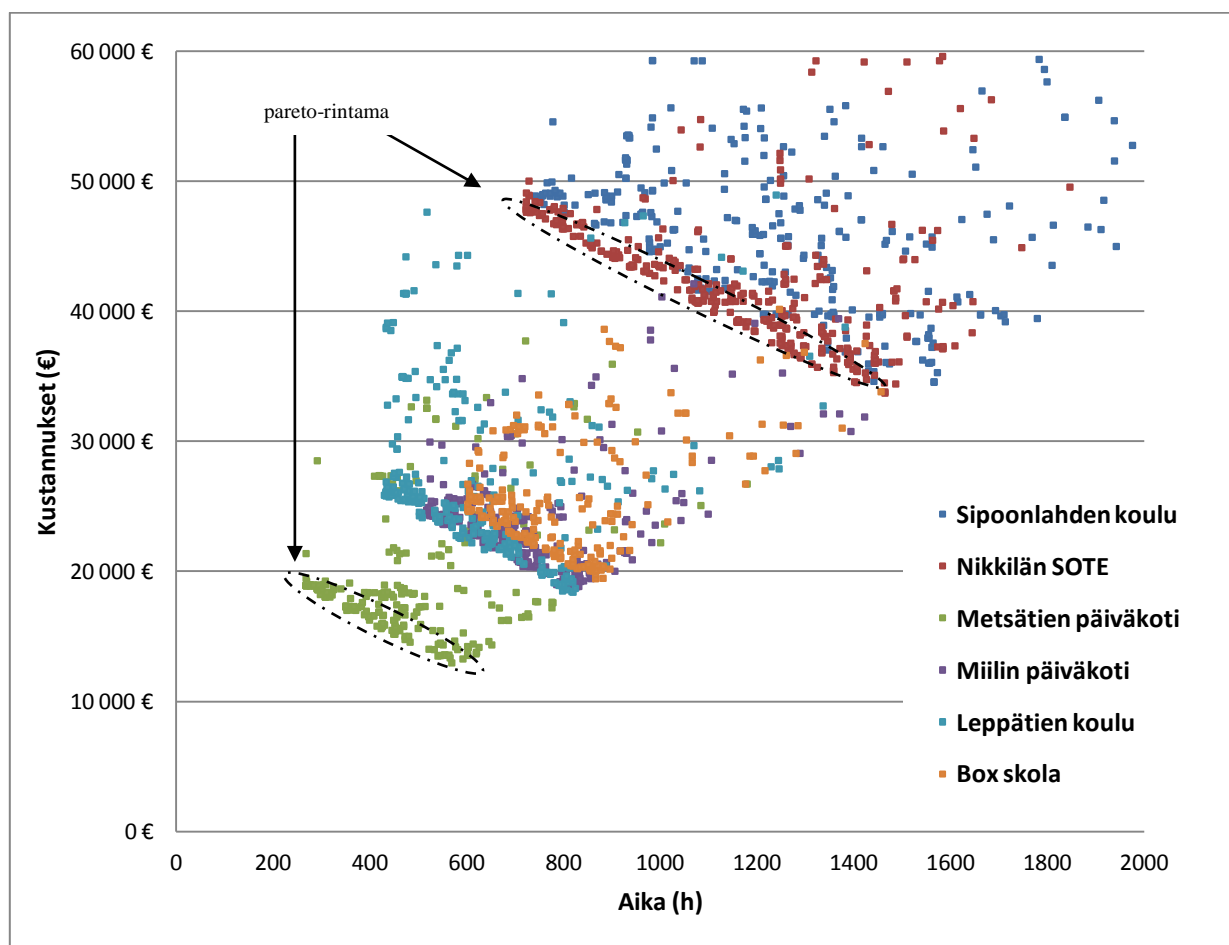


**Kuva 51** Box skola tuntimäärät kuukausittain laatuluokassa II

## 5.2 Sipoon kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointi

### 5.2.1 Optimointi tyyppikohteittain

Optimointi suoritettiin aiemmin määriteltyjen funktioiden ja parametrien avulla sekä koko Sipoon kiinteistökannalle että yksittäisille tyyppikohteille. Tavoitteena oli optimoinnin avulla muodostaa pareto-optimaalinen rintama, josta päätöksentekijän olisi mahdollista valita omien preferenssiensä mukaisesti paras aika-kustannus-piste. Kuvassa 55 on korostettu optimoinnin ääripäiden, Nikkilän sosiaali- ja terveysaseman sekä Metsätien päiväkodin, optimoinnissa saadut pareto-rintamat. Kuten aikaisemmin optimointia käsittelevässä luvussa todettiin, monitavoiteoptimoinnissa löytyy useita pareto-optimaalisia ratkaisuja, jotka dominoivat kaikkia muita ratkaisuja mutta eivät toisiaan. Tässä tapauksessa kaikkien rajoite-ehdot toteuttavien pareto-optimaalisten ratkaisujen joukkoa kutsutaan pareto-optimaaliseksi joukoksi, jossa jokainen piste on yhtä hyvä verrattuna toiseen rintamalla sijaitsevaan pisteeseen. Tyyppikiinteistöille ajettiin optimointilaskelmat laatuluokan II mukaisten työaikojen perusteella, sillä tämä noudattelee yleisesti kuntien kouluissa ja päiväkodeissa käyttämää kiinteistönhoidon laatuluokkaa. Tyyppikiinteistöjen kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin tuloksena syntyneet pistepilvet on esitetty kuvassa 52.



**Kuva 52** Tyyppikiinteistöjen kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa II

Verrattaessa saatuja optimointituloksia mitoituksessa saatuihin tuloksiin, voidaan todeta näiden tulosten olevan oikeassa mittakaavassa. Tulokset noudattelevat etukäteen tehtyjä mitoituslaskelmia ja myös kiinteistöjen ominaisuuksien erot nousevat näistä tuloksista esille. Eniten aikaa kiinteistönhoitoon kuluu Nikkilän sosiaali- ja terveysasemalla sekä Sipoonlahden koulussa. Vähiten aikaa kiinteistönhoidon järjestämiseen menee Metsätien päiväkodissa. Kustannukset ovat suoraan verrannollisia käytettyyn aikaan, joten ne nousevat samassa suhteessa ajankäytön kanssa. Kustannuseroja syntyy lisäksi kohteiden erilaisista ominaisuuksista, sillä osassa kohteissa kone- ja käsitöiden suhteet vaihtelevat. Kuvaajasta selviää, että mitä nopeammin kiinteistönhoidosta halutaan suoriutua, sitä kalliimmaksi se tulee. Tämä on suoraan seurausta resurssien ominaisuuksien ja hintojen eroista, esimerkiksi nopeampien ja kalliimpien konetuntien käytön lisäämisellä. Taulukkoon 31 on lisäksi kerätty tyyppikiinteistöjen optimoinnin tuloksena syntyneet kiinteistönhoidon minimikustannukset sekä minimikestot, jotka kertovat ajan ja kustannusten välisen suhteen eri kiinteistöjen välillä.

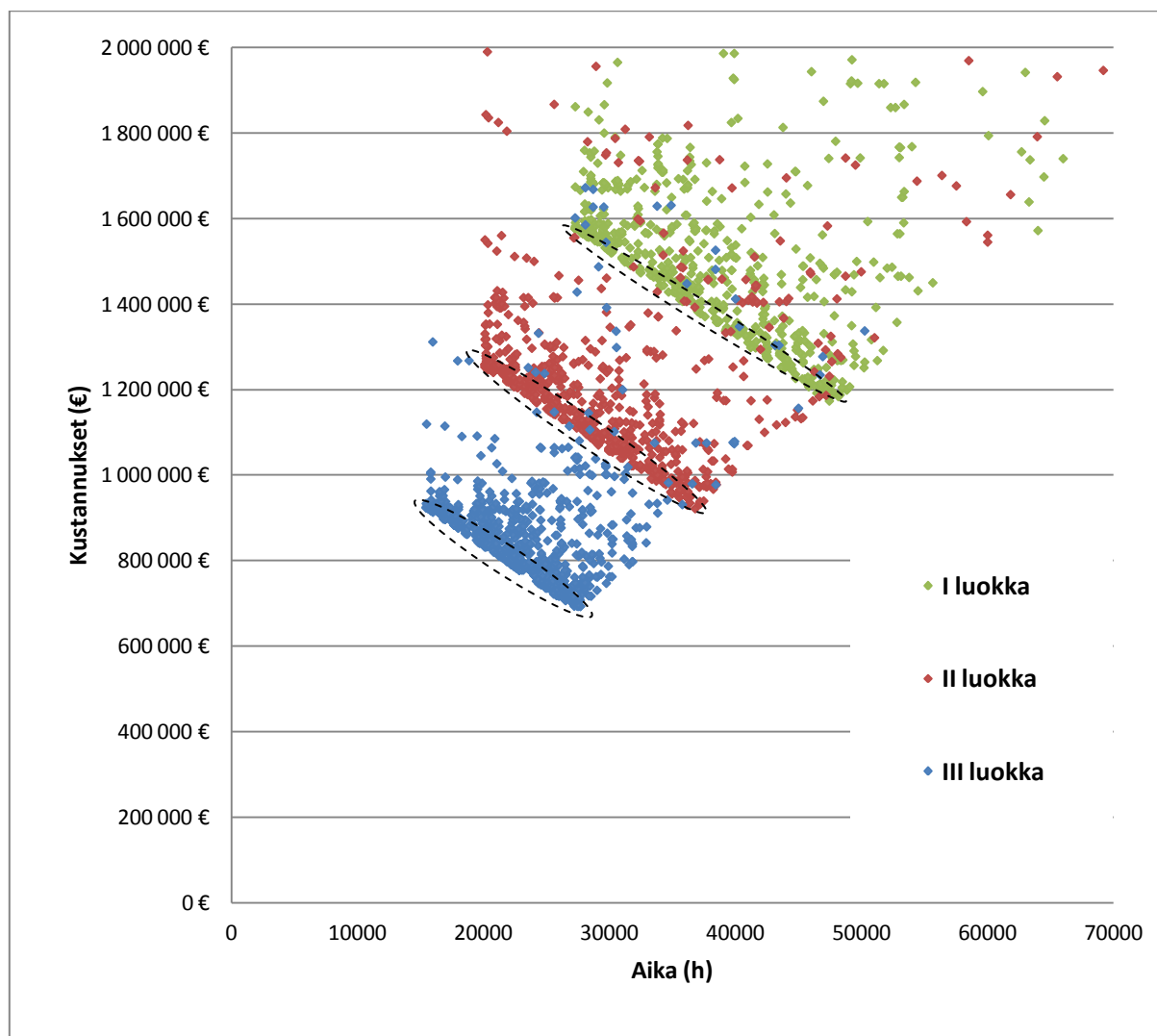
**Taulukko 31** Tyyppikiinteistöjen kiinteistönhoidon minimikustannukset ja -kestot

	Kohde	Luokka	Kustannus (€/vuosi)	Kesto (h/vuosi)
Min. kesto	Nikkilän SOTE	II	48 211	706
Min. kustannus	Nikkilän SOTE	II	33 212	1470
Min. kesto	Sipoonlahden koulu	II	48 882	742
Min. kustannus	Sipoonlahden koulu	II	34 552	1566
Min. kesto	Box skola	II	24 719	602
Min. kustannus	Box skola	II	19 458	866
Min. kesto	Miilin päiväkot	II	24 449	517
Min. kustannus	Miilin päiväkot	II	18 813	816
Min. kesto	Leppätien koulu	II	25 867	430
Min. kustannus	Leppätien koulu	II	18 412	819
Min. kesto	Metsätien päiväkot	II	18 922	268
Min. kustannus	Metsätien päiväkot	II	12 976	569



## 5.2.2 Optimointi koko kunnan kiinteistökannalle

Optimointi suoritettiin yksittäisten tyyppikiinteistöjen lisäksi koko Sipoon kiinteistökannalle. Koko kiinteistökannalle optimointi suoritettiin jokaisessa laatuluokassa erikseen ja laskettuja pisteitä tuli näissä jokaisessa kolmessa luokassa 2016 (populaation  $\text{koko} \times \text{sukupolvien määrä}$ ), kuten etukäteen optimoinnin määrittelyvaiheessa kuvattiin. Kuvassa 53 on yhdistetty jokaisessa laatuluokassa saadut optimointitulokset samaan kuvaajaan. Kuten kuvasta huomataan, muodostuu jokaisen luokan pistepilven vasempaan reunaan optimaalinen pareto-rintama. Laatuluokkien väliset erot selittyvät suoraan tuntimäärien kasvulla luokkien kesken, sillä lumitöiden ja kasvitöiden määrät lisääntyvät suoraan mitä parempaa kiinteistönhoidon laatua halutaan saavuttaa. ”Parempi” laatu merkitsee tässä tapauksessa sitä, että lumi- ja vihertöitä tehdään tiheämpään tahtiin, ja näin ollen olosuhteet pysyvät kohteessa parempina ympäri vuoden. Päätöksentekijän on valittava omien preferenssiensä mukaisesti paras vaihtoehto kustannusten ja ajankäytön suhteen eli ns. ”trade-off”-piste. Tulee kuitenkin huomata ettei laatuluokkia voi verrata keskenään, vaan resurssikombinaatioita (aika/kustannussuhde) tulee vertailla vain saman laatuluokan sisältä.



**Kuva 53** Optimoinnin tulokset kolmessa eri laatuluokassa koko kiinteistökannalle

Taulukkoon 32 on kerätty jokaisen laatuluokan minimikesto- ja kustannus. Laatuluokkien väliset erot selittyvät suoraan ajankäytön lisäämisestä eri luokkien välillä. Taulukon arvot havainnollistavat sen, että mitä nopeammin halutaan suoriutua kiinteistönhoidon tehtävistä, sitä enemmän tästä joutuu maksamaan. Suuremmat kustannukset selittyvät kalliimpien menetelmien käytön lisäämisellä; esimerkiksi kaikki mahdolliset hoidettavat ulkoalueet hoidetaan koneresursseilla ja halvempi mutta hitaampi käsityö vähennetään minimiin. Täytyy kuitenkin huomata, ettei ole olemassa oikeaa ja etukäteen määriteltä parasta kiinteistönhoidon aika-kustannus-suhdetta kunnissa, vaan parhaan ratkaisun määrittää päätöksentekijän tarpeet ja käytettävissä olevat resurssit. Jossain tapauksessa on perusteltua hoitaa kaikkia alueita käsin, ja säästää näin konekustannuksissa sekä yleisesti kaluston hankinnassa. Toisissa tapauksissa on taas perusteltua keskittää kiinteistöhoitoon resurssit koneisiin, sillä kunnan kiinteistöverkon rakenne tätä vaatii. Tarkemmat laatuluokka- ja resurssikohtaiset tuntimäärät sekä pistepilvet on esitetty liitteissä 7 ja 8.

**Taulukko 32** Koko Sipoon kunnan kiinteistöverkon kiinteistönhoidon minimikustannukset ja -kestot eri luokissa

	Luokka	Kustannus (€/vuosi)	Kesto (h/vuosi)
Minimikesto	III	924 345	15 472
Minimikustannus	III	693 084	27 543
Minimikesto	II	1 257 834	20 140
Minimikustannus	II	921 483	36 822
Minimikesto	I	1 576 379	27 290
Minimikustannus	I	1 173 304	47 476

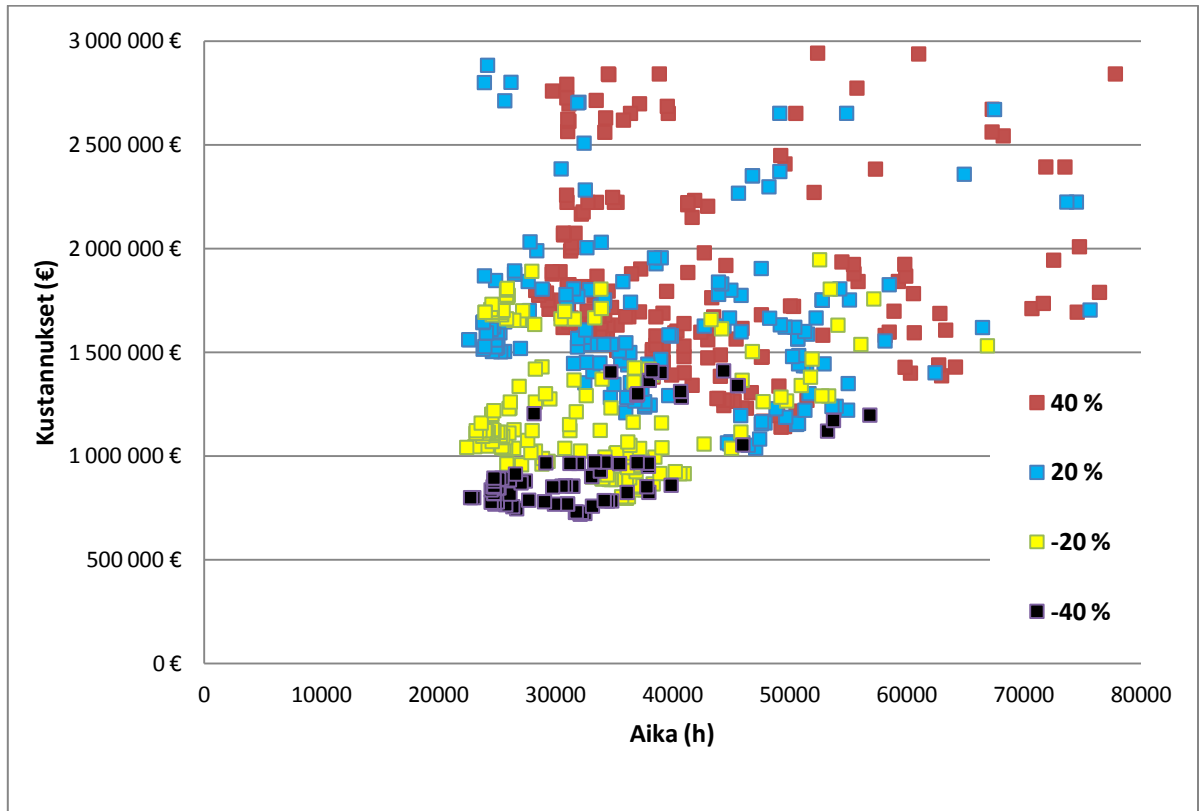
### 5.3 Herkkyystarkastelut

Herkkyystarkastelun tavoitteena oli tutkia resurssien eri ominaisuuksien muutosten vaikutusta lopputulokseen. Muuttuvaksi tekijäksi otettiin resurssien tuntihinnat, sillä näillä oletettiin olevan suoraan vaikutusta optimoinnin lopputuloksiin optimointiongelman luonteesta johtuen. Taulukkoon 33 on koottu tuntihintamuutosten suuruudet prosentteina ja uudet arvot euroina. Tavoitteena oli nähdä mihin suuntaan tulokset muuttuvat tuntihintoja nostamalla sekä laskemalla. Optimointilaskelmat ajettiin läpi jokaisessa uudessa skenaariossa laatuluokassa II, jotta nähtiin miten tuntihintojen vaikutus muuttaa tuloksia.

**Taulukko 33** Resurssien tuntihintojen muutokset

€/h	Muutos- %				
Resurssilaji	40 %	20 %	0 %	- 20 %	- 40 %
Kone 1	112	96	80	64	48
Kone 2	56	48	40	32	24
Käsi 1	28	24	20	16	12
Käsi 2	42	36	30	24	18

Optimointiongelman muuttujista ja asetusarvoista johtuen tuntihintojen muutokset vaikuttavat suoraviivaisesti tuloksiin ja muodostuviin pareto-rintamiin. Yksinkertaisesti tuntihintojen nostaminen lisää kokonaiskustannuksia ja vastaavasti tuntihintojen alentaminen vähentää kokonaiskustannuksia. Tuntihintojen muutokset vaikuttavat lisäksi kuvaajan kulmakertoimeen. Lisäksi kuvasta huomataan, että tuntihintojen muutosten suurimmat vaikutukset tapahtuvat aikaikkunan alarajalla (kuva 54).



**Kuva 54** Resurssien tuntihintojen muutosten vaikutus tuloksiin laatuluokassa II

Kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tuloksia ja näihin tuloksiin vaikuttavia muutoksia tarkasteltiin lisäksi erilaisten kiinteistöverkon rakennetta koskevien mahdollisten tulevaisuuden skenaarioiden kautta. Skenaariot pyrittiin luomaan siten, että ne voisivat tapahtua realistisesti jollain aikavälillä Sipoossa. Tämänlaisia tilanteita voivat olla esimerkiksi huonossa kunnossa olevien pienien kyläkoulujen ja päiväkotien lakkauttamien, sekä samalla uusien isojen koulu- ja päiväkotikeskusten rakentaminen. Taulukkoon 34 on kerätty kolmen eri skenaarion vaatimat tuntimäärät kunkin resurssin osalta. Taulukosta huomataan myös, että resurssien vaatimat tuntimäärät vaihtelevat voimakkaasti eri skenaarioiden välillä. Tämä johtuu pienten ja isojen koulujen sekä päiväkotien ominaisuuksista, jotka vaikuttavat suoraan tarvittavaan kiinteistönhoidon vaatimaan kokonaisaikaan vuodessa. Joissain pienissä kouluissa on saattanut olla suuret piha-alueet mutta vähän tekniikkaa, kun taas uusissa ja moderneissa kouluissa tekniikka on paljon ja piha-alueet ovat suhteessa pienemmät. Kaikki nämä muutokset vaikuttavat resurssien kokonaistarpeeseen ja optimoinnin tuloksiin.

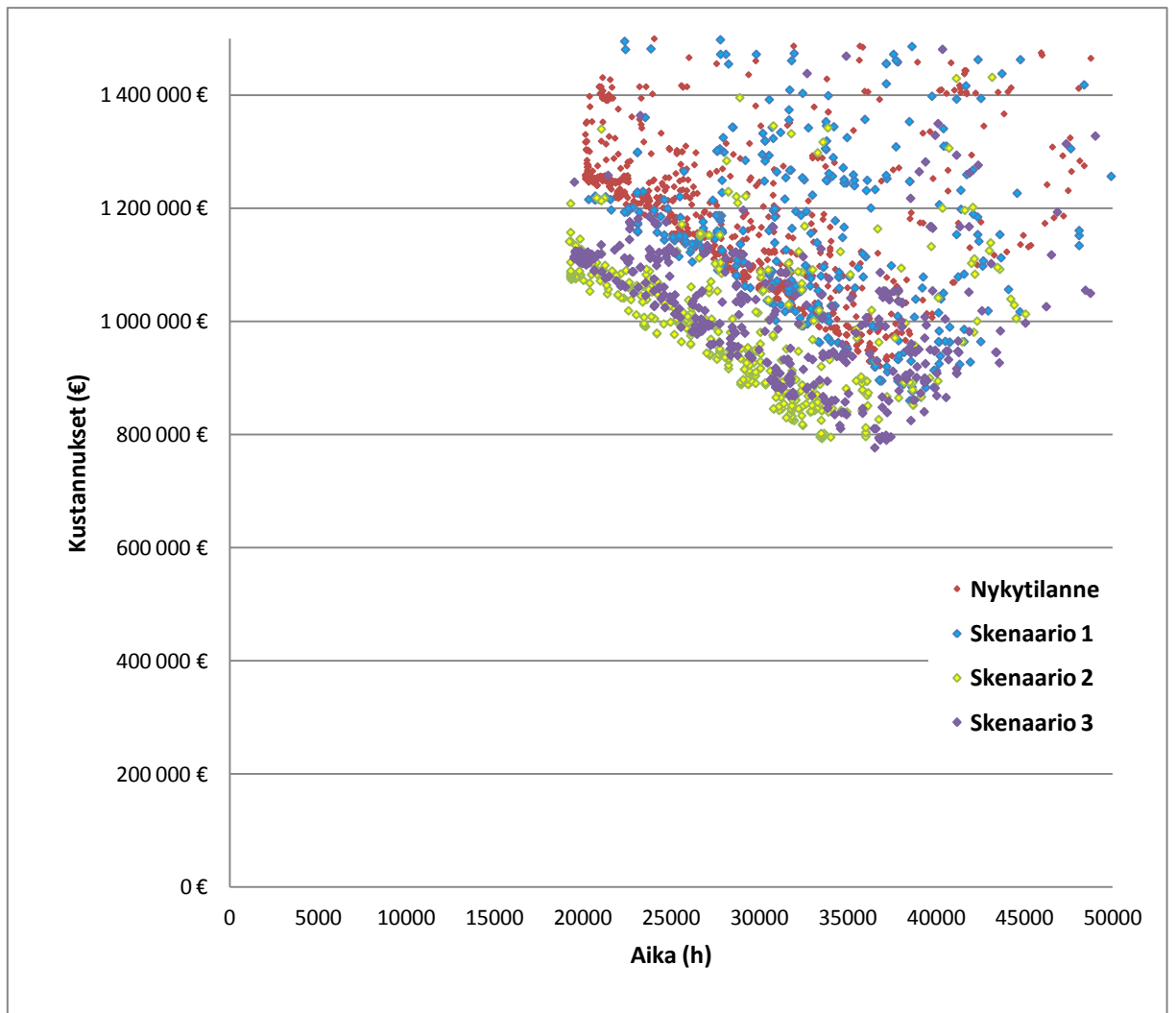
Sipoon kiinteistöverkon kolme mahdollista tulevaisuuden skenaariota:

- **Skenaario 1:** Kaikki pienet koulut lakkautetaan, isojen koulujen määrä tuplataan
- **Skenaario 2:** Kaikki pienet päiväkodit lakkautetaan, isojen päiväkotien määrä tuplataan
- **Skenaario 3:** Kaikki pienet koulut ja päiväkodit lakkautetaan, isojen koulujen ja päiväkotien määrä tuplataan

**Taulukko 34** Eri skenaarioiden vaatimat kiinteistönhoidon tunnit resursseittain

Resurssi	Kone 1			Kone 2			Käsi 1			Käsi 2		
Tuntihinta	80€/h			40€/h			20€/h			30€/h		
Skenaario	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Lumi	2000h	1700h	1800h	-	-	-	40200h	33400h	36000h	40200h	33400h	36000h
Nurmi	-	-	-	700h	1100h	700h	3600h	5800h	3500h	3600h	5800h	3500h
Puhtaanapito	4600h	4100h	4400h	-	-	-	14200h	12700h	13500h	-	-	-
Käsilumi	-	-	-	-	-	-	1700h	2000h	1800h	-	-	-
Tekniset	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6400h	5000h	5700h
Siirtymät	-	-	-	-	-	-	4500h	4500h	4500h	4500h	4500h	4500h

Kuvasta 55 nähdään, että jokainen skenaarioesimerkki on kustannustehokkaampi kiinteistönhoidon resurssien kustannuksiltaan verrattuna tämän hetkiseen tilanteeseen. Tähän osasyynä on erityisesti pienten kyläkoulujen suhteellisen suurten ulkoalueiden väheneminen, sillä lumi- ja vihertyöt muodostavat suurimman osan kiinteistönhoidon kustannuksista sekä ajankäytöstä. Halvimmat kiinteistönhoidon kustannukset syntyvät skenaarion 2 mukaisessa tilanteessa, jossa pienistä päiväkodeista luovuttaisiin kokonaan. Tässä skenaariossa korvaavat päiväkodit olisivat isompia ja vaatisivat suhteessa vähemmän kiinteistönhoidon resursseja vuosittain. Näiden skenaarioiden lisäksi optimointimalli antaa mahdollisuuden tehdä erilaisia vaihtoehtoisia malleja, sillä se on skaalautuva ja alkuasetukset on vaivatonta määrittää.



**Kuva 55** Eri skenaarioiden kiinteistöhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin tulokset

## 5.4 Mallin ja tulosten validointi

Mallin validoinnin periaatteena on varmentaa kehitetyillä malleilla saatujen tulosten todenmukaisuus. Validoinnilla arvioidaan mittausmenetelmän suorituskykyä sekä niiden soveltuvuutta tiettyyn tarkoitukseen, tässä tapauksessa kiinteistönhoidon resurssien mitoittamiseen kunnissa. Työn empiirisen osan tarkoituksena oli luoda käyttökelpoinen mitoitusmalli sekä teoreettinen optimointimalli, jonka avulla olisi mahdollista optimoida kuntien kiinteistönhoidon resursseja. Mitoitusmallin tuloksia verrattiin Sipoon kiinteistönhoidon nykytilanteeseen, jotta nähtäisiin onko mallien perusteella saadut tulokset oikeassa kokoluokassa. Mitoitustuloksia lavennettiin koko Sipoon kiinteistöverkon kattaviksi, ja verrattiin tähän vaadittua laskennallista työmäärää nykyisten kiinteistöhoitajien määrään. Validoinnin tavoitteena on todistaa, että työssä kehitetyt mitoitus- ja optimointimallit vastaavat todellisia kiinteistönhoidon resurssitarpeiden määrittelyä.

**Taulukko 35** Kiinteistönhoidon laskennalliset tuntimäärät ja henkilötarve eri laatuluokissa

	SOTE	Päiväkot1	Päiväkot2	Koulu1	Koulu2	Koulu3	Yhteensä	Hlö tarve
<b>kiinteistöjen lkm.</b>	3	9	14	4	9	7	46	
<b>I-luokka</b>								
Työaika yhteensä (h)	2398	4751	4237	3232	4113	4728	23460	<b>13,8</b>
<b>II luokka</b>								
Työaika yhteensä (h)	2268	4583	4016	3036	3920	4230	22053	<b>13,0</b>
<b>III luokka</b>								
Työaika yhteensä (h)	2202	4527	3895	2905	3824	4024	21378	<b>12,6</b>

Taulukkoon 35 on kerätty kunkin kiinteistönhoidon laatuluokan vaatima kokonaistymäärä tunteina. Tätä kokonaistuntimäärää on jaettu laskennallisella vuoden työmäärällä (1700 tuntia), jonka perusteella on johdettu tarvittava kiinteistönhoidon kokonaistarve henkilöinä. Mitoituslaskelmien mukaan II laatuluokassa, joka on yleisesti käytetty laatuluokkataso kunnissa, tarvitaan karkeasti 13 henkilötyöresurssia. Tarkemmat tuntimäärät eri työvaiheissa (lumityöt, vihertyöt, tekniset yms.) on esitetty liitteessä 9.

Tällä hetkellä Sipoon kiinteistöhoitoon kuuluu yhteensä 15 kiinteistöjen ylläpidosta vastaavaa henkilöä, joista puolella on valmiudet hoitaa myös taloteknisiä huoltoja. Mitoitustulosten perusteella voidaan sanoa, että saadut mitoitus tulokset ja näistä johdetut optimoinnin lähtöarvot ovat oikeassa mittaluokassa. Havaitut erot laskennallisissa ja todellisissa määrissä selittyvät esimerkiksi kiinteistöhoitajien työkuvaan ylimääräisenä kuuluvien töiden hoitamisesta, joita ei näissä mitoituslaskelmissa ole voitu ottaa huomioon. Lisäksi voidaan suoraan päätellä, että Sipoon kunnan kiinteistöhoito on tällä hetkellä ylimitoitettu ainakin joiltain osin.

Vastaavien kiinteistönhoitoon keskittyvien optimointitulosten ja vertailuaineiston puuttuessa kehitettyä optimointimallia verrataan tarkemmin kirjallisuuskatsauksessa käsiteltyjen muiden alojen tutkimusten optimointimalleihin, jotta nähdään miten malli todellisuudessa vertautuu näihin. Kirjallisuuskatsauksessa tarkastelluista resurssien optimoinnin tutkimuksista lähimpänä tässä työssä kehitettyä optimointimallia on Marzoukin & Moselhin (2004) kehittämä optimointimalli maansiirron resurssien optimointiin. Tässä tutkimuksessa on luotu viitekehys maansiirto-operaatioiden optimointiin käyttäen hyväksi simulointimallia ja geneettisiä algoritmeja hyödyntävää monitavoiteoptimointia. Optimointimallin avulla voidaan määrittää optimaalinen maansiirtokaluston koko tiettyjen rajoitusten puitteissa. Optimoinnin tavoitteena tutkimuksessa on minimoida maansiirto-operaatioiden aika ja kustannukset. (Marzouk & Moselhi 2004.)

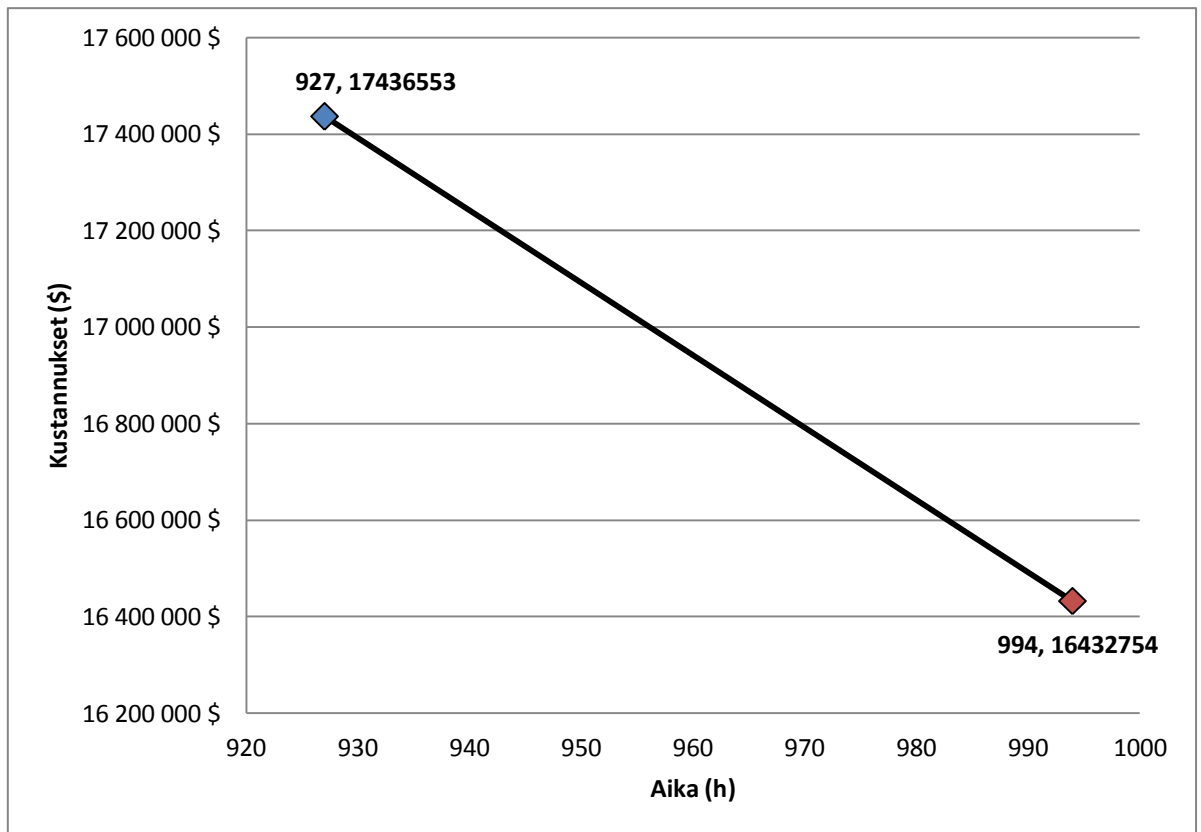
Tutkimuksessa esitellään hypoteettinen esimerkki, jonka avulla kehitettyä optimointimallia mallinnetaan. Tässä esimerkissä siirretään 2 500 000 m<sup>3</sup> moreenia 15 km matka säilytysalueelta työmaalle kolmella erilaisella vaihtoehtoisella kalustolla. Kehitetyssä optimointimallissa on kaksi eri funktiota, joiden avulla voidaan määrittää projektin kestoa ja kokonaiskustannuksia. Funktio F<sub>1</sub> määrittelee projektin keston tunteina siirrettävän maan, päivittäisen tuotannon sekä suunniteltujen päivittäisten tuntien avulla. Funktio F<sub>2</sub> taas kertoo projektin kokonaiskustannukset, ja se sisältää myös kustannustiedot ja konetyyppien määrät. (Marzouk & Moselhi 2004, s. 112-113.)

**Taulukko 36** Optimoinnin minimikesto ja -kustannus (Marzouk & Moselhi 2004, s. 112)

	Kaluston kokoonpano <sup>a</sup>	Kokonaiskustannukset (\$)	Kesto (h)
Minimikesto	(1, 8, 50, 8, 6)	17 436 553	927
Minimikustannukset	(1, 4, 47, 5, 7)	16 432 754	994

<sup>a</sup>(N1, N2, N3, N4, N5); N1: Skenaarion indeksi, N2: Kuorma-auto, N3: Kauhakuormaaja, N4: Levittäjä, N5: Tasoittaja

Taulukossa 36 on esitetty maansiirron optimoinnin tulokset sekä minimikeston että minimikustannusten kautta. Kuten tuloksista huomataan, tuntimäärän lisääminen vähentää kokonaiskustannuksia, ja vastaavasti tuntimäärän laskeminen nostaa kokonaiskustannuksia. Tämä ilmiö johtuu resurssien ominaisuuksien eroista, kuten halvempien mutta hitaampien välineiden käytön lisäämisellä. Kuvassa 56 on esitetty graafisesti saatujen optimoinnin ääripäiden (minimikustannus ja minimikesto) tulokset. Huomionarvoista on tulosten ja kuvaajien samankaltaisuus tämän työn kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnin tuloksiin. Näin ollen voidaan olettaa, että tässä työssä kehitetty teoreettinen optimointimalli antaa oikeanlaisia tuloksia, eikä täten mallin yleisissä laskentaperiaatteissa ole perustavanlaatuisia virheitä, jotka veisivät saaduilta tuloksilta pohjan.



**Kuva 56** Optimoinnin minimikeston ja -kustannusten kuvaaja (Marzouk & Moselhi 2004)



## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä luvussa tarkastellaan ja arvioidaan tutkimuksessa saatuja tuloksia sekä näiden tuloksien luotettavuutta. Lisäksi pohditaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita ja näiden tarpeellisuutta.

### 6.1 Tutkimuksen keskeiset tulokset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää **miten kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin analysointi- ja päätöksentekoprosessi tulisi toteuttaa, ja mitkä muuttujat ovat kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin kannalta merkittävimpiä tekijöitä kuntasektorilla.** Tähän tavoitteeseen pyrittiin vastaamaan seuraavien tutkimuskysymysten avulla:

1. **Mitkä tekijät ovat keskeisiä kiinteistönhoidon resurssien optimoinnille?**
2. **Mihin optimointimalleihin ja -algoritmeihin aiemmin suoritettujen resurssien optimoinnin tutkimukset pohjautuvat?**
3. **Miten optimoinnin avulla on mahdollista optimoida koko kunnan kiinteistöverkon vaatimia kiinteistönhoidon resursseja?**

Tutkimuskysymykset keskittyvät optimoinnin hyödyntämiseen kiinteistönhoidon kontekstissa eri näkökulmista. Ensimmäisen kysymyksen avulla pyrittiin selvittämään millä tekijöillä on suurin vaikutus kiinteistönhoidon resurssien ajankäytölle ja tätä kautta optimoinnille. Toisen kysymyksen tarkoituksena oli saada selville yleisimmät resurssien optimointiin käytetyt optimointimallit ja -algoritmit. Kolmannen tutkimuskysymyksen avulla taas selvitettiin voidaanko kehitetyllä optimointimallilla ylipäänsä optimoida kunnan koko kiinteistöverkon vaatimia kiinteistönhoidon resursseja, ja kuinka hyvin kehitetty malli on skaalattavissa eri mittaluokan optimointiongelmiin.

Kirjallisuuskatsauksessa ja teoriaosuudessa selvisi, ettei vastaavia tutkimuksia kiinteistönhoidon resurssien optimoinnissa oltu aiemmin tehty. Lisäksi kirjallisuuskatsauksen perusteella saatiin selville kiinteistönhoidon erityispiirteet ja näiden huomioon ottamisen tärkeys resurssien optimoinnissa. Tärkeimpänä erityispiirteenä on töiden jakautuminen epätasaisesti kuukausittain sekä ulkoalueiden hoitoon kuluvan ajan suuruus. Resurssien optimointia käsitelleissä tutkimuksissa nousi esille hyödyllisiä malliesimerkkejä monitavoiteoptimoinnista, joita voitiin hyödyntää suoraan tämän työn viitekehyksessä. Tähän työhön tuli yhdistellä mahdollisimman samantapaisia ja samaa asiaa käsitteleviä tutkimuksia resurssien optimoinnista. Kokonaan uuden aihealueen ja mallin kehittäminen vaikuttivat koko työn kulkuun ja tuloksiin. Optimointimallin rakenteeseen vaikuttivat sekä kiinteistönhoidon erityispiirteet että itse optimointiohjelman rakenne.

Kuntakonteksti asetti myös tiettyjä haasteita, jotka tuli ottaa huomioon kiinteistönhoidon mitoituksessa. Kirjallisuuden ja haastatteluiden perusteella huomattiin, että kuntien kiinteistönhoidossa tulee ottaa huomioon erityispiirteenä kiinteistöjen hajanaisuus ja laaja kuntoskaala. Monet kiinteistöt sijaitsevat kaukana hallinnollisesta keskuksesta ja ylipäänsä koko kiinteistöverkko on syntynyt vuosien saatossa hallitsemattomasti rönsyillen. Tämä



### 6.3 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida tarkastelemalla sen reliabiliteettia ja validiteettia. Reliabiliteetti tarkoittaa mittaustulosten luotettavuutta tai toistettavuutta. Validiteetti taas tarkoittaa tutkimuksen pätevyyttä eli kykyä mitata juuri sitä, mitä on tarkoituskin mitata. Nämä kaksi mittaria on tyypillisesti liitetty vahvasti kvantitatiiviseen eli määrälliseen tutkimukseen, jollainen oli tämän tutkimuksen kirjallisuuskatsausosio. Tutkimuksen luotettavuutta parantaa olennaisesti yksityiskohtainen kuvaus tutkimuksen toteuttamisesta ja tarkka selitys siitä millä perusteella esitettyihin tutkimustuloksiin on päädytty. (Hirsjärvi ym. 2006, s. 226–228.) Tässä työssä ja tulosten esittämisessä on pyritty mahdollisimman tarkasti selittämään jokaisessa vaiheessa mistä mikään lukema ja arvo on johdettu, jotta tutkimuksen reliabiliteetti ja validiteetti pysyttäisiin parhaimman mukaan varmistamaan. Tavoitteena on ollut, että tutkimus olisi toistettavissa kenen tahansa toimesta. Lisäksi tutkimuksessa on otettu suoraan kantaa tutkimuksessa ja mallin luomisessa havaittuihin puutteisiin, ja näiden huomioimiseen tutkimustulosten tarkastelussa.

Tämän tutkimuksen tulosten luotettavuuden arvioinnissa tulee ottaa huomioon, ettei samankaltaisia tutkimuksia ole ennen tehty, joten tulosten suora vertailtavuus on tältä osin haastavaa. Lisäksi tässä työssä käsiteltiin vain yhden kunnan kiinteistönhoidon järjestämistä, joten tältä osin ei voida olla varmoja miten esimerkiksi muissa kunnissa kiinteistönhoito toteutetaan ja miten resurssit näissä kunnissa jakautuvat. Saatuja tuloksia arvioitiin tämänhetkisellä Sipoon kiinteistönhoitajien määrällä ja heidän nykyisin kiinteistönhoitoon kuluvan ajan määrällä ja hoidettavilla kohteilla per kiinteistönhoitaja. Näiden tarkastelujen perusteella saadut tulokset olivat oikeassa mittakaavassa tässä työssä saavutettuihin tuloksiin. Lisäksi mitoitustuloksia verrattiin muutamien kiinteistönhoidon mitoitusta käsitelleiden insinööritöiden mitoitustuloksiin, ja havaittiin näiden tulosten vastaavan suurelta osin tässä työssä saavutettuja tuloksia. Kokonaisuudessaan mallin validoinnin avulla pyrittiin todentamaan kehitetyillä malleilla saatuja tuloksia vertaamalla näitä todellisiin Sipoon kiinteistönhoitajien määrään sekä muilla aloilla laadittuihin optimointimalleihin.

Tutkimuksen optimointitulosten luotettavuus riippuu suuresti käytettyjen lähtötietojen tarkkuudesta ja ominaisuuksista. Optimointimallissa käytetyt arvot on johdettu suoraan kiinteistönhoidon mitoituslaskelmista, jotka taas on laskettu validoitujen aikastandardien mukaan. Muuttuvia tekijöitä mitoituksessa on kuitenkin niin paljon, että on mahdotonta saada aikaan täydellistä työmenekin laskentaa. Näin ollen lopullisessa optimoinnissa käytetyt arvot ovat näillä mitoitustyökaluilla ja taustatiedoilla luotuja parhaita mahdollisia arvioita perustuen kohteiden erityisominaisuuksiin. Toisaalta kiinteistönhoitotyön luonteen huomioon ottaen voidaan kyseenalaistaa voiko olla edes olemassa täydellistä mitoitusta, sillä sääolosuhteet, korjaustarpeet ja käyttäjien palvelupyynnöt vaihtelevat kaiken aikaa.

Alkuperäisen kiinteistönhoidon mitoituskirjallisuuden ollessa 1990-luvun alusta, voidaan asettaa tämän relevanttius nykyaikana kyseenalaiseksi. Toisaalta uusimmat aikastandardit ovat vuodelta 1999, ja näissä standardeissa käytetyt koneet, työmenetelmät ja välineet ylipäänsä vastaavat suurelta osin vielä nykypäivänä käytössä olevia koneita ja välineitä. Lisäksi kiinteistönhoidon johtavien yritysten ja muiden asiantuntijoiden haastatteluiden perusteella saatiin selville, että nämä mitoitukset ja aikastandardit pitävät nykyäänkin varsin hyvin paikkansa, ja näin ollen niitä oli perusteltua käyttää tässä työssä.

## 6.4 Jatkotutkimus

Työssä luotiin teoreettinen viitekehys ja käyttökelpoinen malli kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointiin kuntasektorilla. Työn tulosten perusteella kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimoinnille on jatkotutkimuksen kannalta aitoa tarvetta. Luotu malli toimii hyvänä pohjana tuleville tutkimuksille, sillä mallin muokkaus ja laajentaminen on vaivatonta ohjelmistojen ominaisuuksista johtuen. Nykyaikaisten optimointiohjelmien ja kiinteistönhoidon erityispiirteiden saaminen saman kontekstin alle antaa monia potentiaalisia tutkimuskohteita tulevaisuudessa.

Täytyy kuitenkin huomata, että mallin menetelmällinen kehittäminen on avainasemassa tulevaisuudessa, sillä nyt malli ei kykene käsittelemään käsitöiden välisiä suhteita. Tämä vääristää lopullisia tuloksia, koska käsityöt eivät korvaudu toisen käsityöresurssin töillä. Seuraavissa tutkimuksissa tulisi lisäksi tarkentaa mallin muuttujia vastaamaan vielä tarkemmin reaali maailman haasteisiin. Tarkkojen resurssien ominaisuuksien ja kustannusten kautta voitaisiin luoda organisaatiokohtaisia malleja, jotka vastaisivat juuri kyseisen kiinteistönhoito-organisaation ominaisuuksia.

Mielenkiintoisia aihealueita seuraavissa tutkimuksissa voisivat olla esimerkiksi resurssien sekä kohdealueiden määrien kasvattaminen. Näin monimutkaisuus kasvaisi ja tulokset vastaisivat paremmin todellisuutta. Mallin käyttäminen muihin kuntiin on helpointa, sillä kuntakontekstin haasteet on jo otettu tässä mallissa huomioon. Eri kunnille tehtävien kiinteistönhoidon resurssien optimointien avulla empiirinen aineisto kasvaa ja siitä tulee paremmin hyödynnettävää. Kokonaisuudessaan tutkimus loi kiinteistönhoidon resurssien mitoituksen optimointiin uuden viitekehysten, jonka perusteella seuraavia aiheita käsitteleviä tutkimuksia voidaan lähestyä.

Mallia voidaan hyödyntää monissa kiinteistönhoitoon liittyvissä tapauksissa antamaan taustatukea päätöksille ja laskemaan nopeasti mahdollisia resurssien tarpeiden määriä. Kunnat saavat hyötyä mallin tuloksista, sillä ne voivat tarkistaa helposti onko nykyinen kiinteistönhoidon resurssien määrä liian pieni tai suuri. Lisäksi kunnat voivat peilata mallin tulosten avulla mahdollisia hankintoja ja tarjousten paikkansapitävyyttä sekä vertailla tarjousten sisältöä olemassa olevaan kiinteistönhoidon järjestämiseen. Mallin tehtävänä olisi myös löytää erilaisiin kiinteistöverkkoihin tehokkaat ja taloudelliset menetelmät, joilla kunnan kiinteistönhoidon laatu- ja tarvevaatimukset saadaan oikealle tasolle, sillä kiinteistönhoidon resurssien tarpeenmukainen käyttö ja oikein määritetyt kiinteistönhoidon resurssit ovat avainasemassa riittävän kiinteistönhoidon järjestämisessä.

## 7 Lähdeluettelo

Bräysy, O. (2007) Optimoinnin hyödyt kunnallisissa kuljetuksissa ja palveluissa. Jyväskylän Yliopisto. Jyväskylä.

Cheng, T. M. & Yan, R. Z. (2009). Integrating messy genetic algorithms and simulation to optimize resource utilization. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. [Verkkolehti]. Vol. 24:6, S. 401-415. [Viitattu 21.2.2015]. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2008.00588.x.

Coello, C. A. (2000) An updated survey of GA-based multiobjective optimization techniques. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, [Verkkolehti]. Vol. 32:2, S. 109–143. [Viitattu 20.3.2015]. ISSN: 0360-0300 EISSN:1557-7341.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002) A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *Evolutionary Computation*, IEEE Transactions on, [Verkkolehti]. Vol. 6:2, S. 182-197. [Viitattu 5.5.2015] DOI: 10.1109/4235.996017.

Eriksson, P. & Koistinen, K. (2014) Monenlainen tapaustutkimus. Kuluttajatutkimuskeskuksen tutkimuksia ja selvityksiä 11/2014. Kuluttajatutkimuskeskus. Helsinki. [Viitattu 14.11.2015] DOI: 10.13140/RG.2.1.3944.6489. ISSN 2342-0928. ISBN 978-951-698-283-3.

Eskelinen, P. & Miettinen, K. (2011) Trade-off analysis approach for interactive nonlinear multiobjective optimization. *OR Spectrum*, [Verkkolehti]. Vol. 34:4, S. 803-816. [Viitattu 20.1.2015]. ISSN: 0171-6468. DOI: 10.1007/s00291-011-0266-z.

Eskola, J. & Suoranta, J. (2008) Johdatus laadulliseen tutkimukseen. 8. painos. Tampere: Gummerus.

Fink, Arlene (2005) *Conducting Research Literature Reviews: From the Internet to thePaper*. Thousand Oaks: Sage Publications, Inc. ISBN-13: 978-1452259499, ISBN-10: 1452259496

Hamdy, M., Palonen, M., & Hasan, A. (2012) Implementation of pareto-archive NSGA-II algorithms to a nearly-zero-energy building optimisation problem. Teoksessa: Building simulation and optimization conference. 10-11.9.2012. Loughborough, UK.

Hegazy, T., & Kassab, M. (2003) Resource optimization using combined simulation and genetic algorithms. *Journal of Construction Engineering and Management*, [Verkkolehti]. Vol. 129:6, S. 698-705. [Viitattu 22.1.2015]. DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:6\(698\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:6(698))

Hirsjärvi, S., Remes P. & Sajavaara P. (2006) Tutki ja kirjoita. 13. painos. Keuruu. Otavan Kirjapaino Oy. 448 s. ISBN 978-951-26-5635-3.

Holmijoki, O. (2015) Rakennusten ylläpidon ja korjausten terveys- ja talousvaikutukset kuntien omistamassa rakennuskannassa. Sisäilmastoseminaari 2015. 11.3.2015. Helsinki. Kuntaliitto.

- Hopfe, C. 2009. Uncertainty and sensitivity analysis in building performance simulation for decision support and design optimization. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2009. [Verkkolehti]. [Viitattu 2.2.2015]. Saatavilla: <http://repository.tue.nl/643321>. ISBN 978-90-6814-617-2.
- Hyartt, J. & Saari, A., (1992) Kiinteistöjen hoitokustannusten arviomenettelyn kehittäminen. Helsinki: Teknillinen korkeakoulu.
- Johnston, M. & Marshall, G. (2003) Churchill/Ford/Walker's Sales Force Management. 7<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Irwin. ISBN-13: 978-0071288057. ISBN-10: 0071288058
- Jonsson, P. & Mattsson, S. A. (2002) The use and applicability of capacity planning methods. Production and inventory management journal, Vol. 3:4, S. 89-95. [Viitattu 19.1.2015] Saatavissa: [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/2287/local\\_2287.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/2287/local_2287.pdf) ISSN: 0897-8336.
- Kallio, Tomi. (2006) Laadullinen review-tutkimus metodina ja yhteiskunnallinen lähestymistapa. Hallinnon tutkimus 25: 2, 18–28.
- Kangasluoma, M. (2013) Kiinteistöhoidon käsikirja. 7. uud. p. Kiinteistöalan Kustannus. ISBN: 9789516853379
- Kotler, P. & Keller, K. (2012) Marketing Management. Harlow : Pearson. 14. global ed. ISBN: 978-0-273-75336-0.
- Kuntaliitto (2014) Kuntatalouden kehitys vuoteen 2018. Peruspalveluohjelma 3.4.2014, Kuntaliitto.
- Lallukka, V.-V. (2015) Kiinteistövastaava, Sipoo. Haastattelu. 17.7.2015.
- Luke, S. (2013) Essentials of Metaheuristics, Lulu, 2nd ed., Saatavilla: <https://www.cs.gmu.edu/~sean/book/metaheuristics/Essentials.pdf> ISBN: 978-1-300-54962-8
- Marzouk, M. & Moselhi, O. (2004) Multiobjective optimization of earthmoving operations. Journal of Construction Engineering and Management, [Verkkolehti]. Vol. 130:1, S. 105-113. [Viitattu 19.2.2015] DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:1\(105\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:1(105)) ISSN: 1943-7862.
- Metsämuuronen, Jari (2009) Tutkimuksen tekemisen perusteet ihmistieteissä. Jyväskylä: International Methelp.
- Miettinen, K. 2008. Introduction to Multiobjective Optimization: Noninteractive Approaches. Springer Berlin Heidelberg. Multiobjective Optimization, Lecture Notes in Computer Science, Volume 5252, 2008. pp. 1-26. [Verkkolehti]. [Viitattu 24.1.2015]. Saatavilla: [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-88908-3\\_1](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-88908-3_1). ISBN 978-3-540-88908-3.
- Niemelä, T. (2015) Cost Optimal Renovation Solutions in the 1960s Apartment Buildings, Diplomityö. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Espoo. 112 s.
- OpenStreetMap (2015) Sipoon kunnan kartta. Saatavilla: <http://www.openstreetmap.org/copyright>

- Palonen, M., Hamdy, M., Hasan, A. 2013. MOBO a new software for multi-objective building performance optimization. Proceedings of BS2013: 13 th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28. Aalto University and VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland. [Verkkolehti]. [Viitattu 20.5.2015]. Saatavilla: [http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p\\_1489.pdf](http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2013/p_1489.pdf)
- Perrier, N., Langevin, A. & Campbell, J. (2007) A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part IV: Vehicle routing and fleet sizing for plowing and snow disposal. Computers & Operations Research, [Verkkolehti] S. 258–294. [Viitattu 10.2.2015] DOI: 10.1016/j.cor.2005.05.008
- RTS (2009). KiinteistöRYL 2009. Kiinteistöpalveluiden yleiset laatuvaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS. Rakennustieto Oy. ISBN: 978-951-682-935-0.
- Sayarshad, H. R. & Marler, T. (2010) A new multi-objective optimization formulation for rail-car fleet sizing problems. Operational Research. [Verkkolehti]. Vol.10:2, S. 175-198. [Viitattu 10.2.2015]. DOI: 10.1007/s12351-009-0068-0. ISSN: 1866-1505.
- Tiehallinto (2007) Optimoinnin käyttö tienpidossa: Sovelluskohteita ohjauksessa, suunnittelussa ja hankinnassa, Helsinki: Tiehallinto. ISBN 978-951-803-780-7. ISSN 1459-1553.
- Tilasto: Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi [verkkojulkaisu]. ISSN=1795-4533. 2. Vuosineljännes 2015. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 27.9.2015]. Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/kyki/2015/02/kyki\\_2015\\_02\\_2015-09-07\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/kyki/2015/02/kyki_2015_02_2015-09-07_tie_001_fi.html)
- Voijola, J. (1994a) KIMI - kiinteistötyön hallintajärjestelmä, 1 yleiset periaatteet. Helsinki: Suomen kiinteistöliitto ry, 1994. 80 s. ISBN 951-9378-82-0.
- Voijola, J. (1994b) KIMI - kiinteistötyön hallintajärjestelmä, 2 tekniset työt. Helsinki: Suomen kiinteistöliitto ry, 1994. 159 s. ISBN 951-9378-83-9.
- Voijola, J. (1994c) KIMI - kiinteistötyön hallintajärjestelmä, 3 kiinteistöjen ulkotyöt. Helsinki: Suomen kiinteistöliitto ry, 1994. 148 s. ISBN 951-9378-84-7.
- Voijola, J. (1999) KIMI - kiinteistötyön hallintajärjestelmä, uudet KIMI-menetelmät 1999. Helsinki: Suomen kiinteistöliitto ry, 1999. ISBN 952-5072-06-1.
- Vollmann, T., Berry, W., Whysbark, C. & Jacobs, R. (2005) Manufacturing Planning and Control Systems for Supply Chain Management. 5 toim. New York: McGraw-Hill. ISBN: 0-07-144033-X
- Yang, I. T. & Chou, J. S. (2011) Multiobjective optimization for manpower assignment in consulting engineering firms. Applied Soft Computing, [Verkkolehti]. Vol. 11:1, S. 1183-1190. [Viitattu 26.2.2015]. DOI:10.1016/j.asoc.2010.02.016
- Yin, RK. (2014) Case study research: Design and methods. 5. painos. 2014. Sage. Thousand Oaks, CA.
- Ympäristöministeriö (2000). Rakennuksen käyttö- ja huolto-ohje. Teoksessa: Suomen rakentamismääräyskokoelma A4 määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.

Yritys A. (2015) Ylläpitopalveluiden johtaja. Puhelinhaastattelu. 8.5.2015.

Yritys B. (2015) Suunnittelupäällikkö. Haastattelu. Vantaa. 24.4.2015.

Yritys C. (2015) Suunnittelupäällikkö. Haastattelu. Helsinki 2.6.2015.

Zoltners, A., Sinha, B. & Lorimer, S. (2004) Sales Force Design for a Strategic Advantage. Hampshire: Palgrave Macmillan. ISBN-13: 978-1403903051



## **Liitteet**

Liite 1: Rakennuskannan ikä Uudellamaalla vuonna 2010

Liite 2: Kuntien talouteen tehtävät leikkaukset ja kuntien talouden tila 2012–2017

Liite 3: Kuntien ja kuntayhtymien lainakanta ja lainakannan kehitys

Liite 4: Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi rakennustyypeittäin ja tehtävittäin

Liite 5: Kapasiteettisuunnittelun resurssiprofiilit

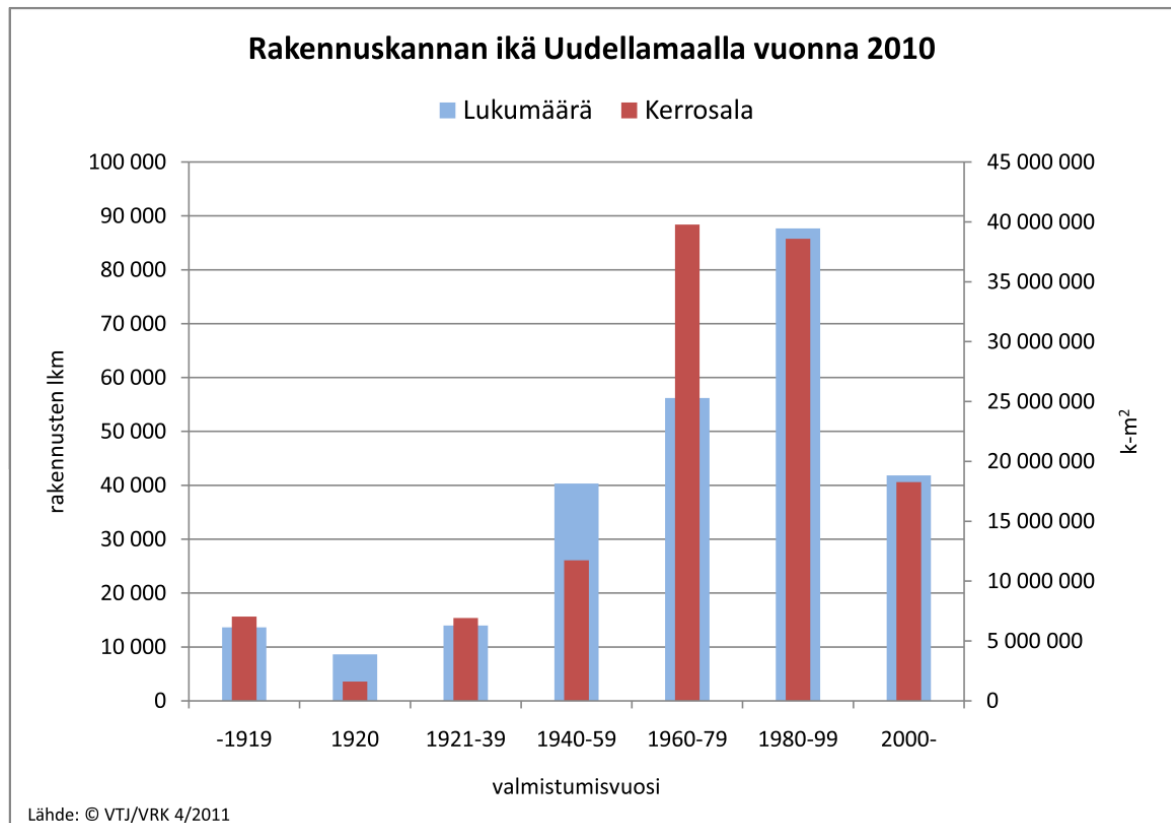
Liite 6: Haastatteluiden kysymykset

Liite 7: Optimointitulokset resurssilajeittain

Liite 8: Optimointitulokset laatuluokittain

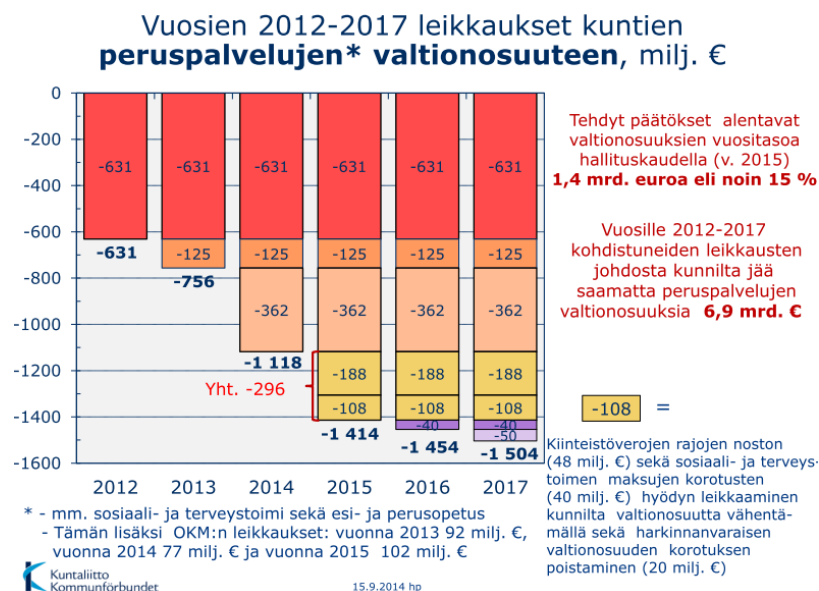
Liite 9: Kiinteistöhoitajien tarve eri laatuluokissa

## Liite 1: Rakennuskannan ikä Uudellamaalla vuonna 2010



**Kuva 57** Rakennuskannan ikä Uudellamaalla (VTJ/VRK 4/2011)

## Liite 2: Kuntien talouteen tehtävät leikkaukset ja kuntien talouden tila 2012–2017



**Kuva 58** Vuosien 2012–2017 leikkaukset kuntien peruspalvelujen valtionosuuteen (Kuntaliitto 2014)

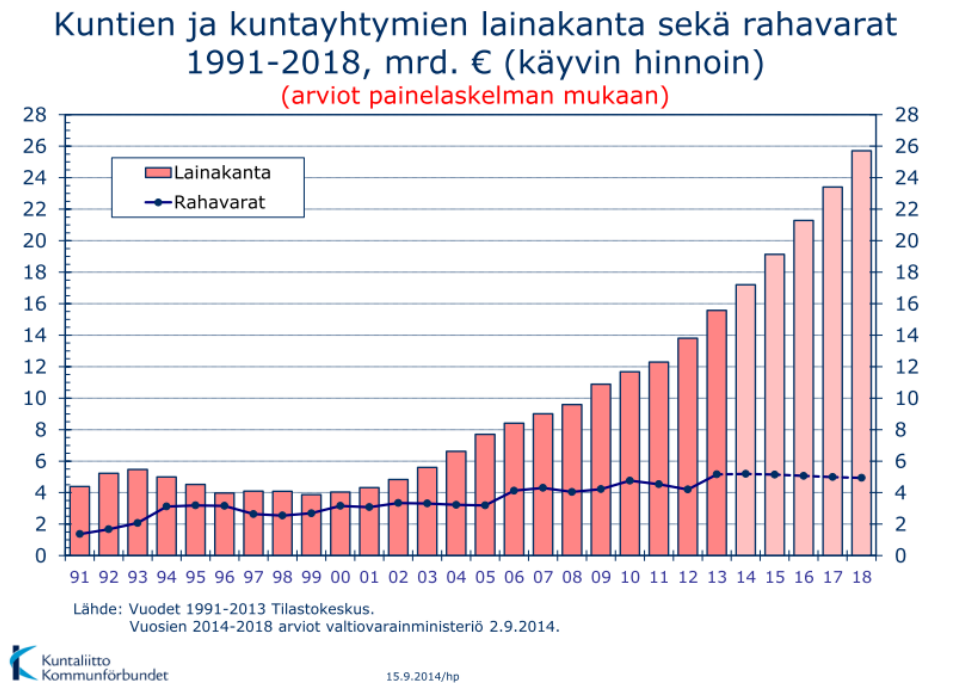
	2012	2013*	2014**	2015**	2016**	2017**	2018**
			1)				
<b>Toimintakate</b>	<b>-25,80</b>	<b>-26,43</b>	<b>-26,88</b>	<b>-27,95</b>	<b>-28,69</b>	<b>-29,43</b>	<b>-30,30</b>
Verotulot	19,32	20,63	21,15	21,52	21,98	22,77	23,51
Käyttötalouden valt.os.	8,07	8,28	8,09	7,96	8,08	8,14	8,27
Muut rahoituserät, netto	0,20	0,21	0,21	0,24	0,18	0,09	-0,05
<b>Vuosikate</b>	<b>1,79</b>	<b>2,69</b>	<b>2,56</b>	<b>1,77</b>	<b>1,54</b>	<b>1,58</b>	<b>1,42</b>
Poistot	-2,40	-2,62	-2,72	-2,70	-2,80	-2,90	-3,00
Satunnaiset erät, netto	0,25	0,37	1,37	0,30	0,27	0,27	0,27
<b>Tilikauden tulos</b>	<b>-0,36</b>	<b>0,43</b>	<b>1,21</b>	<b>-0,63</b>	<b>-0,99</b>	<b>-1,06</b>	<b>-1,31</b>
Tulorah. korjauserät	-0,55	-0,60	-1,60	-0,48	-0,45	-0,45	-0,45
Tulorahoitus	1,49	2,46	2,34	1,59	1,36	1,40	1,24
Investoinnit, netto	-3,47	-3,55	-3,16	-3,46	-3,50	-3,50	-3,50
<b>Rahoitusjäämä 2)</b>	<b>-1,98</b>	<b>-1,09</b>	<b>-0,82</b>	<b>-1,87</b>	<b>-2,14</b>	<b>-2,10</b>	<b>-2,25</b>
Lainakanta	13,81	15,56	17,21	19,13	21,28	23,41	25,71
Rahavarat	4,20	5,16	5,19	5,15	5,06	4,99	4,93

1) Kunnallisten liikelaitosten yhtiöittäminen parantaa vuonna 2014 tilikauden tulosta arviolta noin 1 miljardia euroa.  
2) Rahoitusjäämä = Toiminnan ja investointien rahavirta = Tulorahoitus + investoinnit, netto  
Tulorahoitus = Vuosikate + satunnaiset erät, netto + tulorahoituksen korjauserät

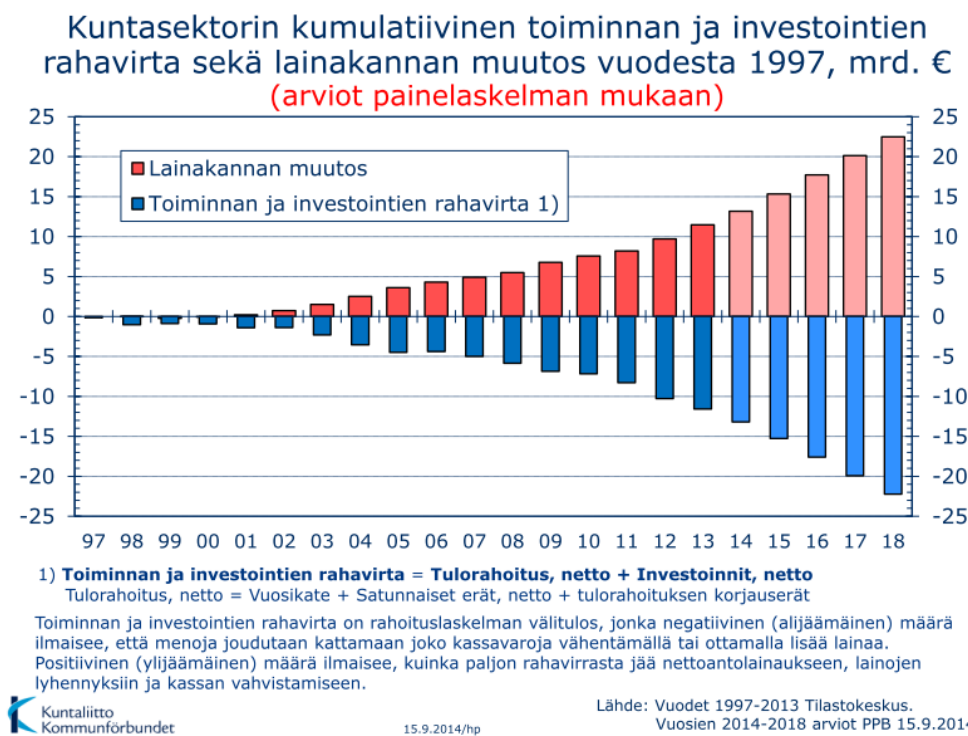
Kuntaliitto Kommunförbundet 15.9.2014/hp Lähde: Vuodet 2012–2013 Tilastokeskus. Vuosien 2014–2018 arviot PPB 15.9.2014.

**Kuva 59** Kuntien ja kuntayhtymien talouden kehitys 2012–2018 (Kuntaliitto 2014)

### Liite 3: Kuntien ja kuntayhtymien lainakanta ja lainakannan kehitys



**Kuva 60** Kuntien ja kuntayhtymien lainakanta ja lainakannan kehitys 1991–2018 (Kuntaliitto 2014)



**Kuva 61** Kuntasektorin kumulatiivinen toiminnan ja investointien rahavirta sekä lainakannan muutos 1997–2018

## Liite 4: Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi rakennustyypeittäin ja tehtävittäin

**Taulukko 37** Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi rakennustyypeittäin 2010=100 (Tilastokeskus 2015)

Vuosi	Kokonaisindeksi	Asuinkerrostalo	Myymälärakennus	Toimistorakennus	Terveyskeskus	Koulu-rakennus	Teollisuus-halli	Omakotitalo
2010	100	100	100	100	100	100	100	100
2011	108,8	107,8	109,7	110,2	107,1	107,9	111,8	113,6
2012	112,4	111,6	112,8	113,4	111,1	112	115	116
2013	115,5	115,3	115,9	117,1	113,3	113,8	117,2	118,5
2014	117,6	117,8	118,2	119,7	115,2	115,2	118	119
2015	120	120,3	121,4	123,4	117,4	116,9	119,4	120,3

**Taulukko 38** Kiinteistön ylläpidon kustannusindeksi tehtävittäin 2010=100 (Tilastokeskus 2015)

Vuosi	Yhteis-tehtävät	Yleishoito	Lämpö-huolto	Sähkö-huolto	Vesi-huolto	Erityis-laitehuolto	Jäte-huolto	Ulko-alueiden hoito	Kunnossa-pito	Siivous
2010	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2011	110	103,4	114,8	112,1	104,4	104,5	108,7	103,6	103,3	104
2012	114,2	107,6	119,9	112,1	108,8	108,5	113,6	107,9	106,5	107,9
2013	118,5	110,6	124,8	113,3	113,5	110,2	121,9	110,9	107,1	110,1
2014	121,8	113,6	125,8	114	117,6	111,1	124,6	113,5	109,8	112,3
2015	129,9	116,1	125,7	115,1	120,6	112,3	126,7	115,9	110,9	115,2

## Liite 5: Kapasiteettisuunnittelun resurssiprofiilit

Taulukosta 39 selviää, kuinka tuotantoon vaadittu aika kussakin työpisteessä jakautuu eri periodeille.

**Taulukko 39 Resurssiprofiili työpisteittäin (Vollmann ym. 2005, s. 288)**

	Periodi		
	3	4	5
<b>Lopputuote A</b>			
Työpiste 100	0,00	0,00	0,05
Työpiste 200	0,60	0,10	0,00
Työpiste 300	0,00	0,20	0,00
<b>Lopputuote B</b>			
Työpiste 100	0,00	0,00	1,30
Työpiste 200	0,25	0,30	0,00

Tuotantosuunnitelman mukaisilla tuotantomäärillä kerrotut resurssitarpeet on laskettu taulukkoon 40.

**Taulukko 40 Resurssiprofiili työpisteittäin tuotantosuunnitelman tuotemäärillä (Vollmann ym. 2005, s. 288)**

	Periodi		
	3	4	5
<b>40 kpl A-tuotetta</b>			
Työpiste 100	0,00	0,00	2,00
Työpiste 200	24,00	4,00	0,00
Työpiste 300	0,00	8,00	0,00
<b>13 kpl B-tuotetta</b>			
Työpiste 100	0,00	0,00	16,90
Työpiste 200	3,25	3,90	0,00
<b>Yhteensä 5. periodilta</b>			
Työpiste 100	0,00	0,00	18,90
Työpiste 200	27,25	7,90	0,00
Työpiste 300	0,00	8,00	0,00

## **Liite 6: Haastatteluiden kysymykset**

### **Haastattelut**

Yritys A. (2015) Ylläpitopalveluiden johtaja [Haastattelu] (8 Toukokuu 2015).

Yritys B. (2015) Suunnittelupäällikkö [Haastattelu] (24 Huhtikuu 2015).

Yritys C. (2015) Suunnittelupäällikkö [Haastattelu] (2 Kesäkuu 2015).

### **Kysymykset**

Mihin kiinteistönhoidossa vaadittava henkilömäärä perustuu?

Miten lasketaan kiinteistönhoidon vaatima työmäärä?

Mitkä asiat ovat tärkeimmät kiinteistönhoidon mitoituksen kannalta?

Miten ja millä perusteella kaluston ja henkilöstön määrä jaetaan kohteiden kesken?

Miten suunnitellaan kiinteistönhoidon reitit ja kierrokset?

Käytetäänkö kiinteistönhoidon työmäärän laskemiseen jotain tiettyä ohjelmistoa?

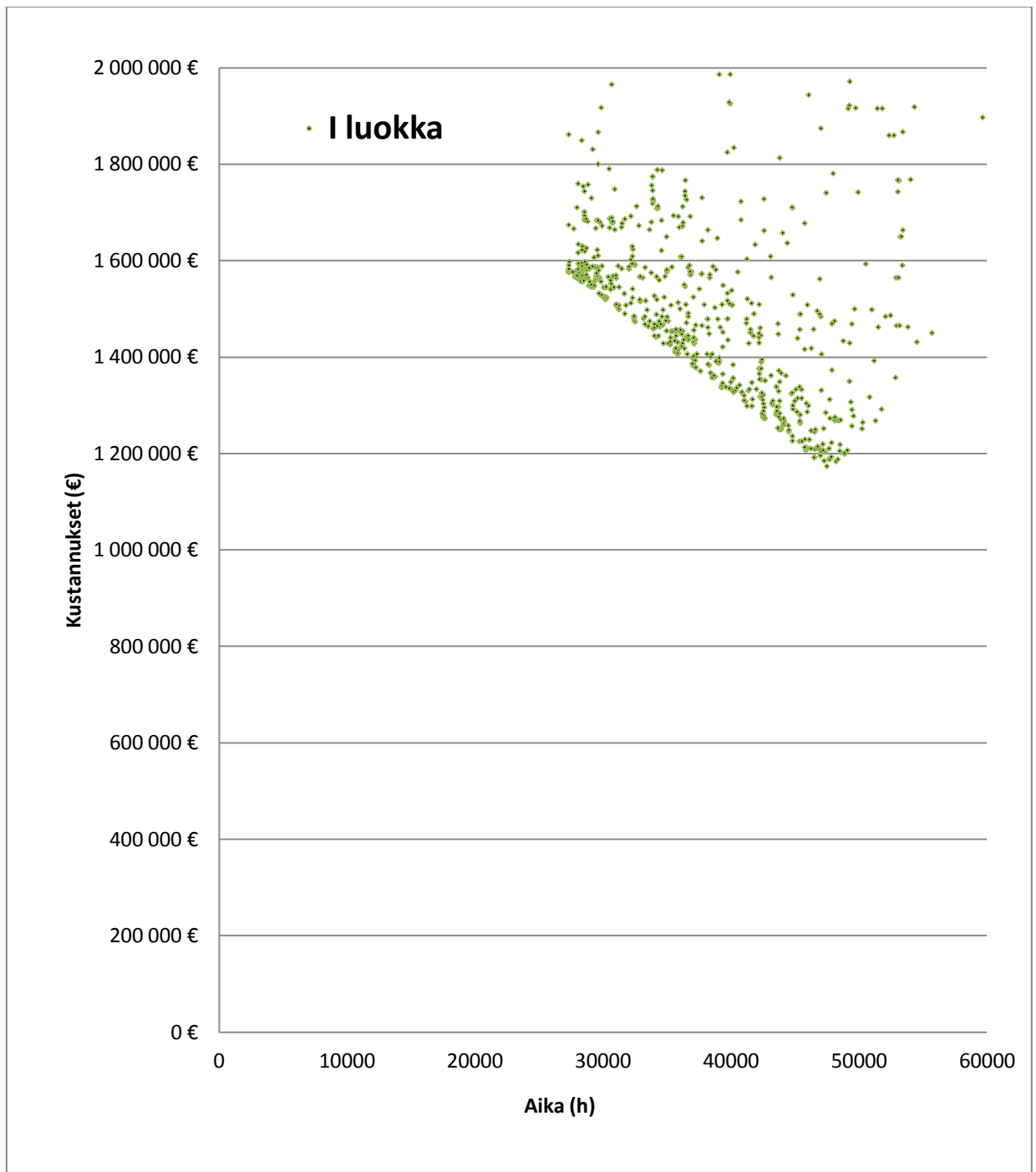
## Liite 7 Optimointitulokset resurssilajeittain

**Taulukko 41** Resurssien tuntimäärät eri laatuluokissa

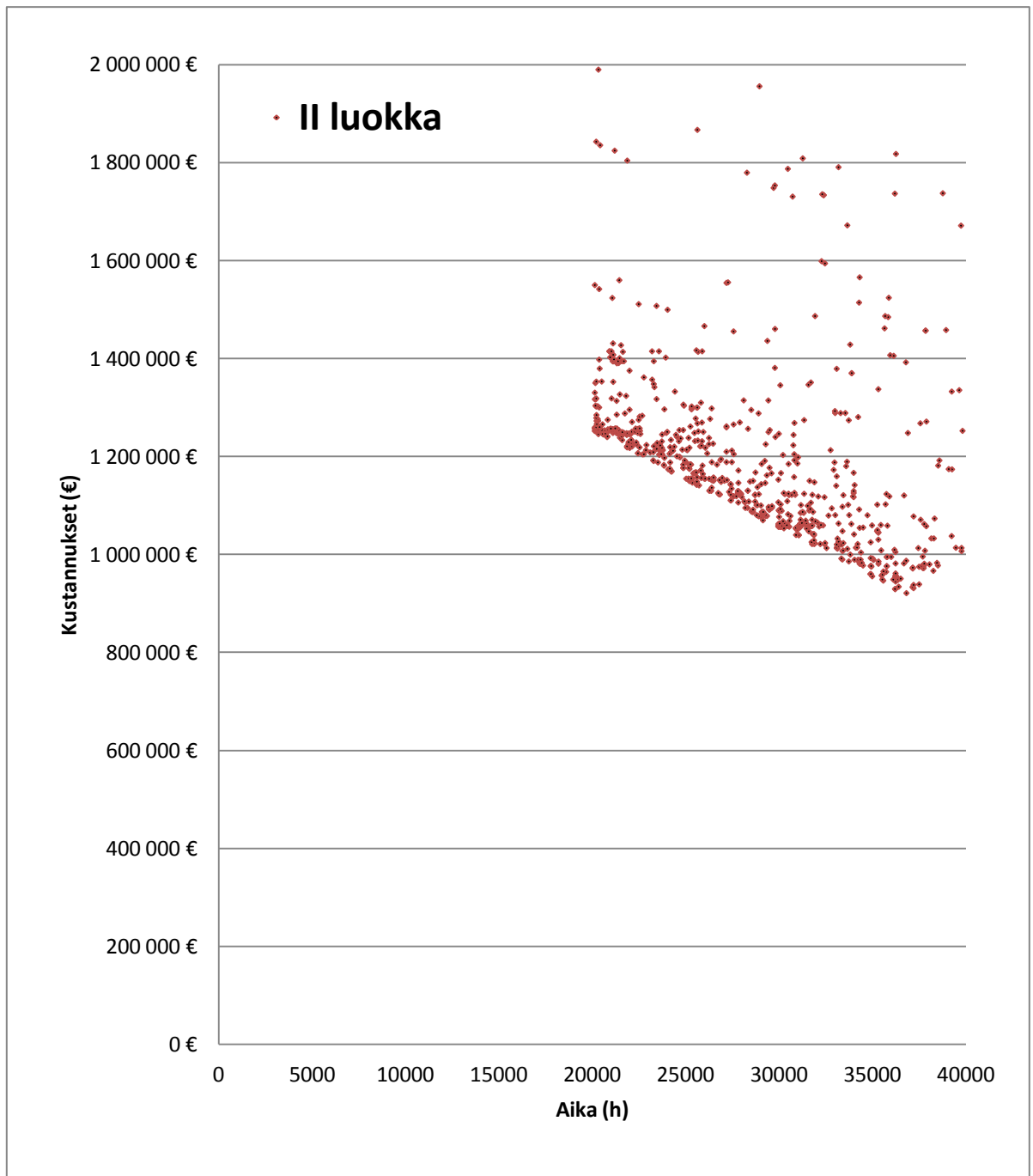
		Laatuluokka					
		I	I	II	II	III	III
Kohde	Resurssi	Minimiaika	Minimikustannus	Minimiaika	Minimikustannus	Minimiaika	Minimikustannus
Lumiala	Kone1	2506	2506	1905	1905	1303	1303
Nurmiala	Kone2	1700	1700	1297	1286	1048	982
Puhtaanapitoala	Kone1	8265	8265	4169	4160	2081	2015
Nurmiala	Käsi1	0	0	13	71	11	355
Lumiala	Käsi1	0	0	0	0	0	0
Puhtaanapitoala	Käsi1	111	111	0	25	57	260
Nurmiala	Käsi2	8	7301	6	0	22	720
Lumiala	Käsi2	0	12982	0	16624	51	11006
Tekniset	Käsi2	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Siirtymät	Käsi1/2	5700	5700	4500	4500	3400	3400
Lumiala	Käsi1	3000	3000	2250	2250	1500	1500
		<b>27290 h</b>	<b>47565 h</b>	<b>20140 h</b>	<b>36822 h</b>	<b>15472 h</b>	<b>27543 h</b>



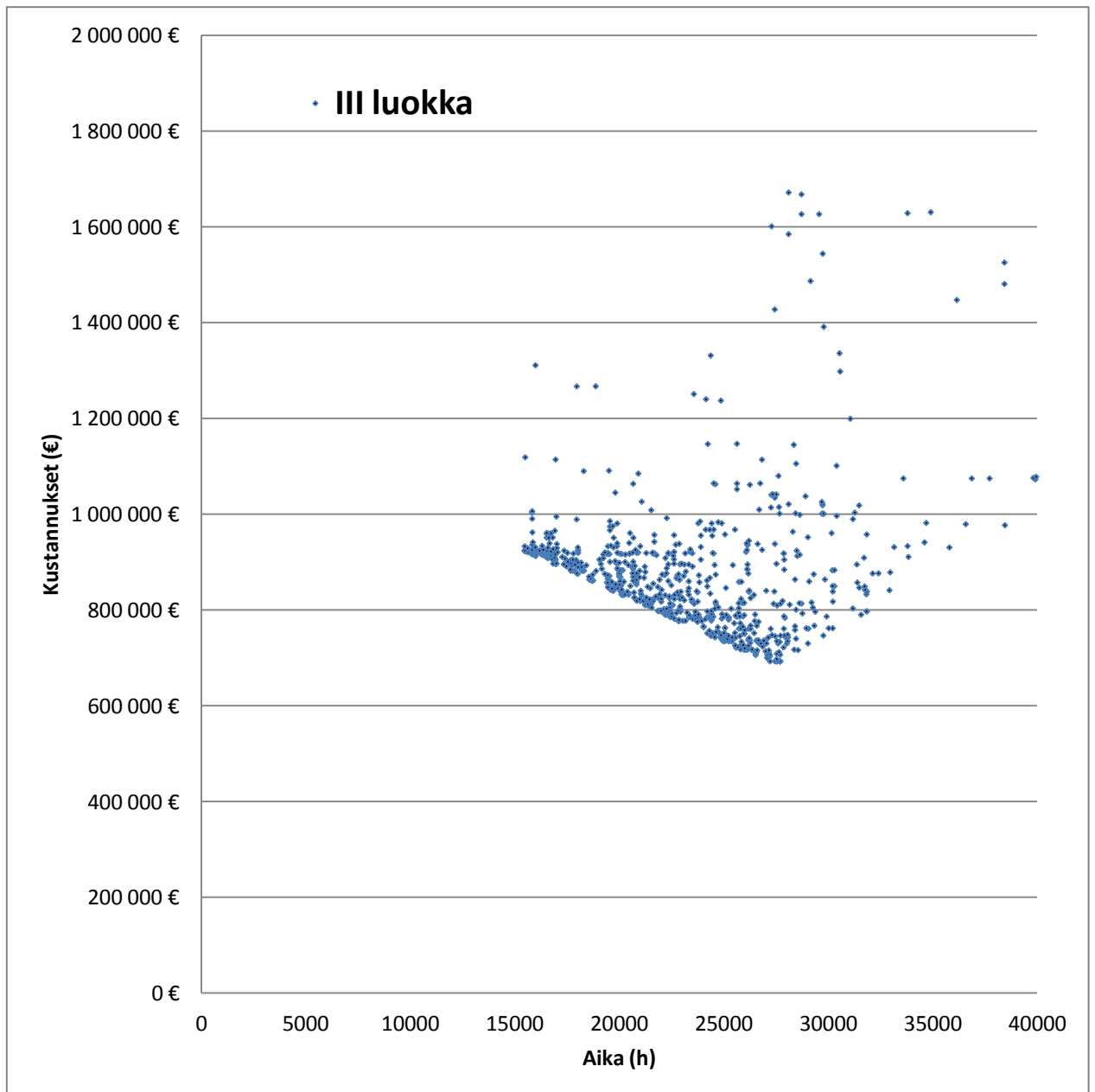
## Liite 8 Optimointitulokset luokittain



**Kuva 62** Sipoon kiinteistöverkon kiinteistöhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa I



**Kuva 63** Sipoon kiinteistöverkon kiinteistönhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa II



**Kuva 64** Sipoon kiinteistöverkon kiinteistöhoidon resurssien optimoinnin tulokset laatuluokassa III

## Liite 9 Kiinteistönhoitajien tarve eri laatuluokissa

Taulukko 42 Kiinteistönhoitajien tarve kolmessa eri laatuluokassa

I-luokka	SOTE	Päiväkoti1	Päiväkoti2	Koulu1	Koulu2	Koulu3	Yhteensä	
lkm	3	9	14	4	9	7	46	
Vihertyöt	389	529	590	462	512	1304	3787	
Käsilumityöt	507	1420	1234	377	1151	1162	5851	
Konelumityöt	219	408	578	373	472	204	2254	
Ulkoalueiden puhtaanapito	131	217	252	167	234	456	1457	
Tekniset työt	1022	618	613	1159	1120	389	4921	
Siirtymät	130	1560	971	693	624	1213	5191	
Yhteensä	2398	4751	4237	3232	4113	4728	23460	13,8

II-luokka	SOTE	Päiväkoti1	Päiväkoti2	Koulu1	Koulu2	Koulu3	Yhteensä	
lkm	3	9	14	4	9	7	46	
Vihertyöt	304	441	487	345	415	843	2836	
Käsilumityöt	510	1429	1241	379	1158	1169	5886	
Konelumityöt	171	319	452	292	369	160	1762	
Ulkoalueiden puhtaanapito	131	217	252	167	234	456	1457	
Tekniset työt	1022	618	613	1159	1120	389	4921	
Siirtymät	130	1560	971	693	624	1213	5191	
Yhteensä	2268	4583	4016	3036	3920	4230	22053	13,0

III-luokka	SOTE	Päiväkoti1	Päiväkoti2	Koulu1	Koulu2	Koulu3	Yhteensä	
lkm	3	9	14	4	9	7	46	
Vihertyöt	261	397	436	287	366	613	2361	
Käsilumityöt	543	1523	1322	404	1234	1246	6273	
Konelumityöt	114	212	302	194	246	107	1175	
Ulkoalueiden puhtaanapito	131	217	252	167	234	456	1457	
Tekniset työt	1022	618	613	1159	1120	389	4921	
Siirtymät	130	1560	971	693	624	1213	5191	
Yhteensä	2202	4527	3895	2905	3824	4024	21378	12,6